

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

00 P 22837  
12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 197 08 011 A 1**

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 N 27/416**  
F 02 D 41/14

21 Aktenzeichen: 197 08 011.1  
22 Anmeldetag: 27. 2. 97  
43 Offenlegungstag: 11. 9. 97

DE 197 08 011 A 1

30 Unionspriorität:

P 8-41774 28.02.96 JP  
P 8-207410 06.08.96 JP

71 Anmelder:

Denso Corp., Kariya, Aichi, JP

74 Vertreter:

Tiedtke, Bühling, Kinne & Partner, 80336 München

72 Erfinder:

Takami, Masayuki, Kariya, Aichi, JP; Mizoguchi,  
Tomomichi, Kariya, Aichi, JP; Haseda, Satoshi,  
Kariya, Aichi, JP; Okazaki, Kazuhiro, Kariya, Aichi,  
JP; Jono, Koji, Kariya, Aichi, JP

54 Verfahren zum Erfassen von Sensorelement-Widerständen

57 Eine Lambda-Sonde erzeugt im Ansprechen auf ein Steuersignal aus einem Mikro-Prozessor linear Meßsignale für ein Luft/Brennstoff-Verhältnis, die zu der Konzentration von Sauerstoff im Abgas aus einer Maschine proportional sind. Ein von dem Mikroprozessor erzeugtes Vorspannungssteuersignal wird einem D/A-Umsetzer zugeführt, der es in ein analoges Signal umsetzt. Das Signal wird dann einem Tiefpaßfilter zum Beseitigen der Hochfrequenzkomponenten des analogen Signals zugeführt. Die Ausgangsspannung des Tiefpaßfilters wird einer Vorspannungssteuerschaltung zugeführt. An die Lambda-Sonde wird durch das Tiefpaßfilter ein einzelnes Wechselspannungssignal mit einer vorbestimmten Frequenz und einer vorbestimmten Zeitkonstante angelegt. Aus der Spannung des Wechselspannungssignals und der durch das Anlegen des Wechselspannungssignals verursachten Änderung des Strompegels der Lambda-Sonde wird der Elementwiderstand der Lambda-Sonde ermittelt.

DE 197 08 011 A 1

Die Erfindung betrifft einen Sauerstoffkonzentrationssensor bzw. Sauerstoffsensor für das Erfassen des Sauerstoffgehaltes beispielsweise im Abgas aus einer Fahrzeugmaschine. Im einzelnen bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren zum Erfassen des Elementwiderstandes aufgrund von Spannungs- und Strom-Frequenzgängen des Sauerstoffsensors.

In den letzten Jahren wurden hinsichtlich der Regelung des Luft/Brennstoff-Verhältnisses in einer Fahrzeugmaschine für das Unterstützen der Magergemischverbrennung und dergleichen Forderungen gestellt, die Regelgenauigkeit zu verbessern. Zum Erfüllen dieser Forderungen wurde für das lineare Erfassen des Luft/Brennstoff-Verhältnisses in einem in die Maschine eingesaugten Gemisch, nämlich des Sauerstoffgehaltes in dem Abgas ein als Lambda-Sonde bezeichneter linearer Luft/Brennstoff-Verhältnissensor (Sauerstoffkonzentrationssensor bzw. Sauerstoffsensor) vorgeschlagen und ausgeführt. Zum Aufrechterhalten der Meßgenauigkeit der Sonde muß die Lambda-Sonde dieser Art in einem aktiven Zustand gehalten werden. Im allgemeinen wird dieser aktive Zustand dadurch aufrechterhalten, daß durch Steuern des Einschaltens eines in der Sonde angebrachten Heizelementes ein Sensorelement der Sonde erwärmt wird.

Bei dieser Schaltsteuerung des Heizelementes wird die nachfolgend einfach als "Elementtemperatur" bezeichnete Temperatur des Sensorelementes erfaßt und dann eine Rückführungsregelung derart ausgeführt, daß die Elementtemperatur schließlich eine erwünschte Aktivierungstemperatur (von z. B. ungefähr 700°C) erreicht. In diesem Fall kann zwar die Elementtemperatur gemäß einem Meßergebnis eines an dem Sensorelement angebrachten Temperatursensors in Echtzeit erfaßt werden, aber das Anbringen des Temperatursensors erhöht voraussichtlich die Gesamtkosten der Sensorvorrichtung. Deshalb wurden Vorschläge gemacht, den nachstehend einfach als "Elementwiderstand" bezeichneten Widerstand des Sensorelementes zu erfassen und aufgrund eines vorbestimmten Zusammenhanges zwischen dem Elementwiderstand und der Elementtemperatur auf diese Weise aus dem erfaßten Elementwiderstand die Elementtemperatur herzuleiten. Es ist anzumerken, daß der erfaßte Elementwiderstand auch zum Bestimmen beispielsweise einer Verschlechterung der Eigenschaften der Sonde herangezogen werden kann.

Fig. 46A und 46B sind graphische Darstellungen, die ein herkömmliches Verfahren zum Erfassen des Elementwiderstandes veranschaulichen, wie es beispielsweise in der US-PS 4 543 176 offenbart ist. Diese Figuren veranschaulichen einen Fall, bei dem als Lambda-Sonde für die Maschinenregelung ein Strombegrenzung-Sauerstoffsensor verwendet wird. Gemäß der Darstellung in Fig. 46A wird vor einem Zeitpunkt  $t_{11}$  zum Messen des Luft/Brennstoff-Verhältnisses an das Sensorelement eine vorbestimmte Spannung, nämlich eine positive Spannung  $V_{pos}$  angelegt. Das Luft/Brennstoff-Verhältnis wird aufgrund eines Sensorstromes  $I_{pos}$  ermittelt, der gemäß Fig. 46B entsprechend der angelegten Spannung  $V_{neg}$  hervorgerufen wird. Zwischen dem Zeitpunkt  $t_{11}$  und einem Zeitpunkt  $t_{12}$  wird eine negative Spannung  $V_{neg}$  zum Messen des Elementwiderstandes angelegt und ein entsprechender Sensorstrom  $I_{neg}$  erfaßt. Dann wird die negative Spannung  $V_{neg}$  durch den Sensorstrom  $I_{neg}$  dividiert, um den Elementwiderstand  $ZDC$  zu erhalten ( $ZDC =$

$V_{neg}/I_{neg}$ ). Dieses Verfahren ist allgemein als Verfahren zum Erfassen des Elementwiderstandes aufgrund der Gleichstromeigenschaften der Lambda-Sonde bekannt.

Während dieses herkömmliche Verfahren zum Erfassen des Elementwiderstandes, nämlich der Gleichstromkomponente der Impedanz durch Anlegen einer Gleichspannung an das Sensorelement angewandt wird, ist in der US-PS 4 419 190 ein Verfahren zum Erfassen des Elementwiderstandes durch Anlegen einer Wechselspannung an das Sensorelement beschrieben. Bei diesem Verfahren wird kontinuierlich an die Lambda-Sonde eine Wechselspannung angelegt und das Sensorausgangssignal aus der Lambda-Sonde wird über ein Tiefpaßfilter geleitet, um das Luft/Brennstoff-Verhältnis zu erfassen. Das gleiche Sensorausgangssignal wird über ein Hochpaßfilter geleitet und gemittelt, um die Wechselstromimpedanz zu messen. Dieses Verfahren ist allgemein als Verfahren zum Erfassen des Elementwiderstandes durch Nutzung der Wechselstromeigenschaften der Lambda-Sonde bekannt.

Bei allen vorstehend beschriebenen herkömmlichen Verfahren bestehen jedoch die folgenden Probleme: Wenn bei dem Gleichstromimpedanz-Verfahren eine negative Spannung  $V_{neg}$  mit Rechteckkurvenform angelegt wird, ändert sich der Sensorstrom  $I_{neg}$  sehr schnell und es kann daher der Spitzenstrom der Sonde nicht auf genaue Weise erfaßt werden. Aus diesem Grund ist das Messen des Spitzenstromes bis zum Stabilisieren des Sensorstromes auszusetzen. Demgemäß kann während einer Zeitspanne das Luft/Brennstoff-Verhältnis nicht erfaßt werden. Dieses Problem, nämlich daß der Spitzenstrom während des Anlegens der Spannung mit der Rechteckkurvenform nicht möglich ist, wird ferner wahrscheinlich auch bei dem Verfahren zum Erfassen des Elementwiderstandes aufgrund der Wechselstromeigenschaften auftreten.

Da bei dem in der US-PS 4 419 190 offenbarten Wechselstromimpedanz-Verfahren das Sensorausgangssignal zum Erfassen des Luft/Brennstoff-Verhältnisses über das Tiefpaßfilter geleitet wird, können auch Probleme hinsichtlich des Verhältnis-Ausgangssignals wie eine Phasenverschiebung oder ein Wechselspannungs-Störsignal auftreten. Diese Probleme treten insbesondere dann in Erscheinung, wenn die Maschine in einem Übergangszustand betrieben wird.

In Anbetracht der vorstehend genannten Probleme bei dem Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, zum Erfassen des Elementwiderstandes eines Sauerstoffsensors ein Verfahren zu schaffen, welches darauf gerichtet ist, den Elementwiderstand auf genaue Weise zu erfassen und die Zeit für das Erfassen des Elementwiderstandes zu verkürzen.

Zur Lösung der Aufgabe ergibt die Erfindung gemäß einem ersten Aspekt ein Verfahren zum Erfassen des Elementwiderstandes des Sauerstoffsensors mit Schritten, bei denen eine Zeitkonstante eingestellt wird, die einer Frequenz entspricht, bei der die Impedanzeigenschaften des Sauerstoffsensors stabil sind, an den Sauerstoffsensor eine sich mit der Zeitkonstante ändernde Spannung angelegt wird, eine Stromänderung des in dem Sauerstoffsensor infolge der sich ändernden Spannung fließenden Stromes ermittelt wird und aufgrund der sich ändernden Spannung und der Stromänderung der Elementwiderstand des Sauerstoffsensors ermittelt wird.

Da auf diese Weise an den Sauerstoffsensor eine sich mit einer vorbestimmten Zeitkonstante ändernde Span-

nung angelegt wird, können plötzliche Änderungen hinsichtlich des Stromwertes des Sauerstoffsensors verhindert werden und es kann damit der Pegel der Stromänderung auf genaue Weise erfaßt werden. Infolge dessen kann der Elementwiderstand des Sauerstoffsensors genau erfaßt werden.

Vorzugsweise wird bei dem Anlegen der sich ändernden Spannung eine Spannung angelegt, die eine sich mit der Zeitkonstante ändernde einzige Spannungskurve hat. Auf diese Weise kann im Vergleich mit herkömmlichen Verfahren, bei denen der Elementwiderstand aufgrund einer Folge von fortgesetzten Spannungssignalen erfaßt wird, der Elementwiderstand des Sauerstoffsensors in kurzer Zeit erfaßt werden.

Bei diesem Verfahren wird vorzugsweise bei dem Einstellen der Zeitkonstante ein Frequenzbereich bestimmt, in welchem die Impedanzeigenschaften des Sauerstoffsensors stabil sind, und es wird eine Zeitkonstante angesetzt, die einer vorbestimmten Frequenz innerhalb dieses Frequenzbereiches entspricht. Die Impedanzeigenschaften des Sensorelementes des Strombegrenzung Sauerstoffsensors sind bei Spannungswchselfrequenzen von mindestens 1 kHz gleichmäßig. Daher sollte die Zeitkonstante auf 159  $\mu$ s eingestellt werden, was einer Grenzfrequenz von nicht weniger als 1 kHz entspricht.

Bei dem Anlegen der sich ändernden Spannung wird vorzugsweise eine Spannung angelegt, die einen Abschnitt mit negativer Neigung und einen Abschnitt mit positiver Neigung hat, wobei die Stromänderung ermittelt wird, die auf den Abschnitt mit der negativen Neigung oder mit der positiven Neigung zurückzuführen ist, und der Elementwiderstand aufgrund der sich mit der negativen Neigung ändernden Spannung und der Stromänderung bei deren Ermittlung aus dem Abschnitt mit der negativen Neigung bzw. aus der sich mit der positiven Neigung ändernden Spannung und der Stromänderung bei deren Ermittlung aufgrund des Abschnittes mit der positiven Neigung bestimmt wird.

Bei dem Anlegen der sich ändernden Spannung wird vorzugsweise dann, wenn mit dem Sauerstoffsensor ein Magergemischverhältnis erfaßt wird, eine sich mit einem Abschnitt positiver Neigung ändernden Spannung angelegt, und dann, wenn mit dem Sauerstoffsensor ein Fettgemischverhältnis erfaßt wird, eine sich mit einem Abschnitt negativer Neigung ändernde Spannung angelegt, wobei dann, wenn mit dem Sauerstoffsensor das Magergemischverhältnis erfaßt wird, die auf den Abschnitt negativer Neigung zurückzuführende Stromänderung ermittelt wird, bzw. dann, wenn mit dem Sauerstoffsensor das Fettgemischverhältnis erfaßt wird, die auf den Abschnitt positiver Neigung zurückzuführende Stromänderung ermittelt wird. Auf diese Weise kann der Strom des Sauerstoffsensors genau erfaßt werden, ohne daß der Dynamikbereich des Sensorstromdetektors überschritten wird.

Gemäß einem anderen Aspekt ergibt die Erfindung ein Verfahren zum Erfassen des Elementwiderstandes des Sauerstoffsensors mit einem Schritt, bei dem selektiv ein erstes und/oder ein zweites Meßverfahren ausgeführt wird. Das erste Meßverfahren umfaßt Schritte zum Einstellen einer Zeitkonstante, die einer Frequenz entspricht, bei der die Impedanzkennlinie des Sauerstoffsensors gleichmäßig ist, zum Anlegen einer sich mit der Zeitkonstante ändernden Spannung an den Sauerstoffsensor, zum Ermitteln einer auf die sich ändernde Spannung zurückzuführenden Stromänderung des in dem Sauerstoffsensor fließenden Stroms und zum Er-

mitteln des Elementwiderstandes des Sauerstoffsensors aus der sich ändernden Spannung und der Stromänderung. Das zweite Meßverfahren umfaßt Schritte, bei denen der Sauerstoffsensor abgeschaltet wird, eine Änderung der Spannung an dem Sauerstoffsensor nach dem Abschalten desselben erfaßt wird, eine auf der Spannungsänderung beruhende Stromänderung hinsichtlich des Stromes des Sauerstoffsensors erfaßt wird und der Elementwiderstand aus der Spannungsänderung und der Stromänderung ermittelt wird.

Auf diese Weise kann dann, wenn der Ausgangsstrom des Sauerstoffsensors nahe an oder Mitte des erfaßbaren Strombereiches liegt, zum Ermitteln des Elementwiderstandes des Sauerstoffsensors das erste Meßverfahren angewandt werden. Falls andererseits der Ausgangsstrom nahe an dem Maximalwert oder dem Minimalwert des Strombereiches liegt, kann zum genauen Erfassen des Elementwiderstandes des Sauerstoffsensors das zweite Meßverfahren angewandt werden. Somit kann das für das Erfassen des Stromes des Sauerstoffsensors geeignete Meßverfahren entsprechend dem Strompegel desselben gewählt werden.

Die Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert.

Fig. 1 ist eine schematische Darstellung einer Luft/Brennstoff-Verhältnis-Meßeinrichtung gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Fig. 2 ist eine Schnittansicht, die ausführlich den Aufbau einer Lambda-Sonde der Maßeinrichtung zeigt.

Fig. 3 ist eine graphische Darstellung von Spannung/Strom-Kennlinien der Lambda-Sonde.

Fig. 4A und 4B zeigen Kurvenformen einer Ausgangsspannung eines D/A-Umsetzers und einer Ausgangsspannung eines Tiefpaßfilters der Maßeinrichtung.

Fig. 5 ist ein Äquivalenzschaltbild der Lambda-Sonde.

Fig. 6 ist eine graphische Darstellung von Impedanzkennlinien der Schaltung nach Fig. 5 in bezug auf die Frequenz einer eingegebenen Wechselspannung.

Fig. 7 ist eine graphische Darstellung, die den Zusammenhang zwischen der Frequenz der in die Lambda-Sonde eingegebenen Wechselspannung und der Gesamtimpedanz der Lambda-Sonde veranschaulicht.

Fig. 8 ist ein Schaltbild einer Vorspannungssteuerschaltung gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel.

Fig. 9 ist ein Ablaufdiagramm einer Hauptroutine, die durch einen Mikroprozessor der Luft/Brennstoff-Verhältnis-Meßeinrichtung gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel ausgeführt wird.

Fig. 10 ist ein Ablaufdiagramm einer durch den Mikroprozessor gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel ausgeführten Subroutine zur Elementwiderstandserfassung.

Fig. 11A bis 11D sind graphische Darstellungen, die Beispiele für Änderungen der an die Lambda-Sonde angelegten Spannung und durch diese Spannungsänderungen verursachte jeweilige Stromänderungen zeigen.

Fig. 12 ist eine graphische Darstellung, die den Zusammenhang zwischen der Elementtemperatur und dem Elementwiderstand der Lambda-Sonde veranschaulicht.

Fig. 13A bis 13D, 14A bis 14D und 15A bis 15D sind graphische Darstellungen, die andere Varianten von Änderungen der an die Lambda-Sensor angelegten Spannung und jeweils durch diese Spannungsänderungen verursachte Stromänderungen zeigen.

Fig. 16 ist ein Ablaufdiagramm einer Subroutine zur Elementwiderstandsmessung gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 17 ist eine graphische Darstellung, die den Zusammenhang zwischen Spannung/Strom-Kennlinien der Lambda-Sonde und deren Dynamikbereich veranschaulicht,

Fig. 18 ist eine graphische Darstellung, die den Zusammenhang zwischen Spannung/Strom-Kennlinien der Lambda-Sonde und deren Dynamikbereich, der nur für den Magergemischbereich eingestellt ist,

Fig. 19 ist ein Ablaufdiagramm einer Subroutine zur Elementwiderstandsmessung gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 20A und 20B sind graphische Darstellungen der Spannung/Strom-Kennlinien von Lambda-Sonden mit voneinander verschiedenen Elementtemperaturen,

Fig. 21A und 21B sind graphische Darstellungen, die den Zusammenhang zwischen der an die Lambda-Sonde angelegten Spannung und dem Sensorstrom der Lambda-Sonde veranschaulichen,

Fig. 22A und 22B sind graphische Darstellungen, die den Zusammenhang zwischen der an die Lambda-Sonde angelegten Spannung und den Sensorstrom der Lambda-Sonde veranschaulichen,

Fig. 23 ist eine graphische Darstellung, die den Zusammenhang zwischen der Frequenz einer in die Lambda-Sonde eingegebenen Wechselspannung und der Wechselstromimpedanz der Lambda-Sonde veranschaulicht,

Fig. 24 ist ein schematisches Schaltbild einer Schalteinheit gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 25 ist eine schematische Darstellung der Luft/Brennstoff-Verhältnis-Meßeinrichtung gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel,

Fig. 26 ist ein Schaltbild einer Vorspannungssteuerung gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel,

Fig. 27 ist ein Ablaufdiagramm einer Subroutine zur Grenzstrommessung gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel,

Fig. 28 ist ein Ablaufdiagramm einer Subroutine zur Elementwiderstandsmessung gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel,

Fig. 29 ist eine graphische Darstellung, die konkret die Funktion bei dem vierten Ausführungsbeispiel veranschaulicht,

Fig. 30A bis 30C sind graphische Darstellungen, die Spannung/Strom-Kennlinien der Lambda-Sonde außerhalb des Dynamikbereiches einer Strommeßschaltung zeigen,

Fig. 31A bis 31C sind graphische Darstellungen, die Spannung/Strom-Kennlinien der Lambda-Sonde bei dem Abschalten der Sonde zeigen,

Fig. 32 ist eine graphische Darstellung, die den Zusammenhang zwischen einem aufgrund einer Spannungsänderung ermittelten Elementwiderstand  $R$  und der Kennlinie eines aufgrund des Abschaltens der Lambda-Sonde erfaßten Elementwiderstandes  $R_e$  veranschaulicht,

Fig. 33A und 33B sind graphische Darstellungen für den Vergleich eines auf der Spannungsänderung basierenden Elementwiderstand-Meßverfahrens mit einem auf dem Abschalten der Lambda-Sonde basierenden Elementwiderstand-Meßverfahren,

Fig. 34 ist eine schematische Darstellung einer Luft/Brennstoff-Verhältnis-Meßeinrichtung gemäß einem fünften Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 35 ist ein Schaltbild einer Vorspannungssteuerung gemäß dem fünften Ausführungsbeispiel,

Fig. 36 ist ein Ablaufdiagramm einer Subroutine zur Elementwiderstandsmessung gemäß dem fünften Ausführungsbeispiel,

Fig. 37 ist ein Ablaufdiagramm einer Routine für das auf der Spannungsänderung basierende Messen des Elementwiderstandes gemäß dem fünften Ausführungsbeispiel,

Fig. 38 ist ein Ablaufdiagramm einer Routine für das auf dem Abschalten der Lambda-Sonde basierende Messen des Elementwiderstandes gemäß dem fünften Ausführungsbeispiel,

Fig. 39 ist ein Spannung/Strom-Kennliniendiagramm, das die Strombereiche zeigt, in denen das auf der Spannungsänderung basierende Elementwiderstand-Meßverfahren angewandt wird und das auf dem zeitweiligen Abschalten der Lambda-Sonde basierende Elementwiderstand-Meßverfahren angewandt wird,

Fig. 40 ist ein Spannung/Strom-Kennliniendiagramm, das die Strombereiche zeigt, in denen das auf der Spannungsänderung basierende Elementwiderstand-Meßverfahren angewandt wird und das auf dem zeitweiligen Abschalten der Lambda-Sonde basierende Elementwiderstand-Meßverfahren angewandt wird,

Fig. 41 ist eine Schnittansicht, die ausführlich den Aufbau einer integrierten Lambda-Sonde gemäß einem sechsten Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt,

Fig. 42 ist eine graphische Darstellung, die den Zusammenhang zwischen einer elektromotorischen Sensorspannung der integrierten Lambda-Sonde und dem Luft/Brennstoff-Verhältnis gemäß dem sechsten Ausführungsbeispiel veranschaulicht,

Fig. 43 ist eine graphische Darstellung, die den Zusammenhang zwischen einem Pumpstrom in der integrierten Lambda-Sonde und dem Luft/Brennstoff-Verhältnis veranschaulicht,

Fig. 44 ist ein Schaltbild einer Vorspannungssteuerung gemäß dem sechsten Ausführungsbeispiel,

Fig. 45A und 45B zeigen Kurvenformen einer Spannungsänderung und einer entsprechenden Stromänderung gemäß dem sechsten Ausführungsbeispiel,

Fig. 46A und 46B zeigen Kurvenformen einer Spannungsänderung und einer durch eine solche Spannungsänderung verursachten Stromänderung bei einem herkömmlichen Elementwiderstand-Meßverfahren.

Nachstehend wird ein erstes Ausführungsbeispiel beschrieben, bei dem die Erfindung bei einer Luft/Brennstoff-Verhältnis-Meßeinrichtung angewandt wird. Die Maßeinrichtung gemäß diesem Ausführungsbeispiel wird für einen Benzinmotor mit elektronischer Einspritzregelung verwendet, der in ein Fahrzeug eingebaut ist. Ein Luft/Brennstoff-Verhältnis-Regelsystem der Maschine regelt die Menge an in die Maschine einzuspritzenden Brennstoff gemäß dem durch die Maßeinrichtung erfaßten Luft/Brennstoff-Verhältnis, um ein erwünschtes Luft/Brennstoff-Verhältnis zu erzielen. Nachstehend werden ausführlich die Prozeduren zum Erfassen des Luft/Brennstoff-Verhältnisses  $A/F$  mittels einer Lambda-Sonde und zum Messen des Elementwiderstandes unter Nutzung der Wechselstromeigenschaften der Lambda-Sonde erläutert.

Fig. 1 ist eine schematische Darstellung, die eine Gestaltung der Luft/Brennstoff-Verhältnis-Meßeinrichtung gemäß diesem Ausführungsbeispiel zeigt. Gemäß Fig. 1 enthält die Maßeinrichtung einen nachstehend als Lambda-Sonde bezeichneten Strombegrenzung-Luft/Brennstoff-Verhältnissensor 30, der als Sauerstoffkon-

zentrationssensor dient. Die Lambda-Sonde 30 ist in ein Auspuffrohr 12 eingebaut, welches sich von einem Motorblock 11 einer Maschine 10 weg erstreckt. Im Ansprechen auf das Anlegen einer Spannung gemäß Führung durch einen Mikroprozessor 20 erzeugt die Lambda-Sonde 30 ein lineares Lambda-Meßsignal mit einem Wert, der zu dem Sauerstoffgehalt in dem Abgas proportional ist. Der Mikroprozessor 20 enthält eine Zentraleinheit CPU, einen Festspeicher ROM, einen Schreib/Lesespeicher RAM und dergleichen. Der Mikroprozessor 20 steuert gemäß einem vorbestimmten Steuerprogramm eine Vorspannungssteuerschaltung 40 und eine Heizsteuerschaltung 25, die nachfolgend beschrieben werden.

Die Fig. 2 ist eine schematische Schnittansicht der Lambda-Sonde 30. Gemäß Fig. 2 ragt die Lambda-Sonde 30 in das Innere des Auspuffrohres 12. Die Lambda-Sonde 30 besteht hauptsächlich aus einer Abdeckung 31, einem als Sensorelement bekannten Sensorhauptteil 32 und einem Heizelement 33. Die Abdeckung 31 hat U-förmigen Querschnitt. In dem Umfang der Abdeckung 31 ist eine grobe Anzahl von kleinen Löchern 31a zum Herstellen der Verbindung zwischen dem Inneren und dem Äußeren der Abdeckung 31 ausgebildet. Das Sensorelement 32 ruft einen Grenzstrom hervor, der in einem Bereich, in dem das Luft/Brennstoff-Gemisch mager ist, der Sauerstoffkonzentration entspricht, oder in einem Bereich, in dem das Gemisch fett ist, der Konzentration an unverbrannten Gasen ( $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$ ,  $\text{H}_2$  und dergleichen) entspricht.

Nachstehend wird der Aufbau des Sensorelementes 32 ausführlich beschrieben. In dem Sensorelement 32 ist auf die Außenfläche einer Trockenelektrolytschicht 34, die U-förmigen Querschnitt hat, eine abgasseitige Elektronenschicht 36 aufgebracht, während an der Innenfläche der Trockenelektrolytschicht 34 eine atmosphärenseitige Elektrodenschicht 37 aufgebracht ist. Ferner ist auf die Außenfläche der abgasseitigen Elektronenschicht 36 durch Plasma-Aufsprühen oder dergleichen eine Diffusionswiderstandsschicht 35 ausgebildet. Die Trockenelektrolytschicht 34 hat einen Sinterkörper aus einem für Sauerstoffionen leitfähigen Oxid, welches durch Versetzen von  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{HfO}_2$ ,  $\text{ThO}_2$ ,  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  oder dergleichen mit  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Yb}_2\text{O}_3$  oder dergleichen als Stabilisator erhalten wird. Die Diffusionswiderstandsschicht 35 besteht aus einem wärmebeständigen anorganischen Material wie Aluminiumoxid, Magnesiumoxid, Silikatmaterial, Spinell, Mullit oder dergleichen. Die beiden Elektronenschichten 36 und 37 seitens der Abgase und seitens der Atmosphäre sind aus einem Edelmetall gebildet, welches hohe Katalysatoreigenschaften wie Platin oder dergleichen hat, und dessen Oberfläche ist mit porösen chemischen Materialien beschichtet. Die Fläche und die Dicke der abgasseitigen Elektronenschicht 36 betragen jeweils ungefähr 10 bis 100  $\text{mm}^2$  bzw. ungefähr 0,5 bis 2,0 mm, während die atmosphärenseitige Elektronenschicht 37 einen Flächeninhalt von weniger als 10  $\text{mm}^2$  und eine Dicke von ungefähr 0,5 bis 2,0 mm hat.

Das Heizelement 33 ist innerhalb der atmosphärenseitigen Elektrodenschicht 37 angeordnet und erzeugt Wärmeenergie zum Erwärmen des Sensorelementes 32 (welches aus der atmosphärenseitigen Elektronenschicht 37, der Trockenelektrolytschicht 34, der abgasseitigen Elektronenschicht 36 und der Diffusionswiderstandsschicht 35 besteht). Das Heizelement 33 hat eine Wärmeerzeugungskapazität, die für das Aktivieren des Sensorelementes 32 ausreichend ist.

In der auf die vorstehend beschriebene Weise gestalteten Lambda-Sonde 30 ruft das Sensorelement 32 in einem Bereich, in welchem das Luft/Brennstoffverhältnis in bezug auf einen theoretischen Wert des Luft/Brennstoffverhältnisses in dem Magergemischbereich liegt, einen der Sauerstoffkonzentration entsprechenden Grenzstrom. Der dem Sauerstoffgehalt entsprechende Grenzstrom ist in diesem Fall durch die Fläche der abgasseitigen Elektrodenschicht 36 sowie durch die Dicke, die Porosität und die mittleren Lochdurchmesser der Diffusionswiderstandsschicht 35 bestimmt. Das Sensorelement 32 ist zwar zum linearen Erfassen der Sauerstoffkonzentration geeignet, es ist aber unmöglich, den Aktivierungsbereich ausschließlich durch Nutzung der Wärme der Abgase aus der Maschine 10 zu steuern, da die für das Aktivieren des Sensorelementes 32 erforderlichen Temperaturen hohe Temperaturen über  $600^\circ\text{C}$  sind und der Temperaturbereich zum Aktivhalten des Sensorelementes 32 verhältnismäßig schmal ist. Daher wird bei diesem Ausführungsbeispiel das Sensorelement 32 durch Wärmeregulierung mit dem Heizelement 33 bis zu dem Aktivierungstemperaturbereich aufgeheizt. Andererseits ändert sich in dem Bereich, in dem das Luft/Brennstoff-Verhältnis in bezug auf das stöchiometrische Luft/Brennstoff-Verhältnis in dem Fettgemischbereich liegt, die Konzentration von unverbrannten Gasen wie Kohlenmonoxid  $\text{CO}$  und dergleichen im wesentlichen linear in bezug auf Änderungen des Luft/Brennstoff-Verhältnisses. In diesem Fall ruft das Sensorelement 32 einen Grenzstrom hervor, welcher der Konzentration von  $\text{CO}$  und dergleichen entspricht.

Die Spannung/Strom-Kennlinien des Sensorelementes 32 werden unter Bezugnahme auf Fig. 3 beschrieben. Gemäß Fig. 3 ist zwischen dem in die Trockenelektrolytschicht 34 des Sensorelementes 32 fließenden Strom, der zu dem durch die Lambda-Sonde 30 erfaßten Luft/Brennstoff-Verhältnis proportional ist, und der an der Trockenelektrolytschicht 34 anliegenden Spannung ein linearer Zusammenhang zu beobachten. Dabei ist der Grenzstrom des Sensorelementes 32 durch die zu der Spannungsachse  $V$  parallelen geraden Kurvenabschnitte dargestellt. Der Grenzstrom (Sensorstrom) wird proportional zu dem Verhältnis  $A/F$  stärker oder geringer, nämlich in Abhängigkeit davon, ob das Luft/Brennstoff-Gemisch magerer oder fetter ist. Das heißt, je größer das Luft/Brennstoff-Verhältnis  $A/F$  ist, um so stärker wird der Grenzstrom. Andererseits wird der Grenzstrom um so schwächer, je kleiner das Verhältnis  $A/F$  ist.

In der die Spannung/Strom-Kennlinien darstellenden Figur sind die Spannungsbereiche unterhalb der zu der Spannungsachse  $V$  parallelen geraden Kurvenabschnitte widerstandsabhängige Bereiche, in denen der Gradient einer geraden Linie, z. B. einer Linie  $L_1$  durch den Innenwiderstand der Trockenelektrolytschicht 34 des Sensorelementes 32 bestimmt ist, der dem Elementwiderstand entspricht. Dieser Elementwiderstand ändert sich proportional zu der Sensortemperatur und daher wird dieser Gradient infolge einer Erhöhung des Elementwiderstandes kleiner, wenn die Temperatur des Sensorelementes 32 niedriger wird.

Gemäß der Darstellung in Fig. 1 wird von dem Mikroprozessor 20 an einen D/A-Umsetzer 21 ein digitales Vorspannungssteuersignal  $V_r$  zum Anlegen von Spannung an die Lambda-Sonde 30 abgegeben, welches durch den D/A-Umsetzer 21 zu einem analogen Signal  $V_b$  umgesetzt und danach an ein Tiefpaßfilter TPF 22 abgegeben wird. An die Vorspannungssteuerschaltung



40 wird dann eine Ausgangsspannung  $V_c$  abgegeben, die von dem Tiefpaßfilter 22 durch Ausschneiden von Hochfrequenzkomponenten aus dem analogen Signal  $V_b$  erzeugt wird. Diese Vorspannungssteuerschaltung 40 ist dazu ausgelegt, an die Lambda-Sonde 30 entweder eine Spannung zum Erfassen des Luft/Brennstoff-Verhältnisses  $A/F$  oder eine Spannung zum Messen des Elementwiderstandes anzulegen. Wenn das Verhältnis  $A/F$  erfaßt wird, wird die in Fig. 3 dargestellte Kennlinie  $L_1$  dazu herangezogen, die angelegte Spannung  $V_p$  gemäß dem entsprechenden Verhältnis  $A/F$  einzustellen. Wenn andererseits der Elementwiderstand erfaßt wird, wird an die Lambda-Sonde 30 ein einzelnes Spannungssignal mit einer vorbestimmten Zeitkonstante angelegt, die eine vorbestimmte Frequenz für das Ändern der angelegten Spannung darstellt.

Die Vorspannungssteuerschaltung 40 enthält eine Strommeßschaltung 50, die den Strom erfaßt, der nach dem Anlegen von Spannung an die Lambda-Sonde 30 hervorgerufen wird. Ein analoges Signal, welches durch die Strommeßschaltung 50 erfaßten Stromwert anzeigt, wird über einen A/D-Umsetzer 23 dem Mikroprozessor 20 zugeführt. Eine Gestaltung der Vorspannungssteuerschaltung 40 wird nachfolgend ausführlich beschrieben.

Die Heizsteuerschaltung 25 steuert die Funktion des Heizelementes 33, das in der Lambda-Sonde 30 angebracht ist. Das heißt, die Heizsteuerschaltung 25 steuert den Einschaltfaktor, der aus einer (nicht dargestellten) Batteriestromquelle dem Heizelement 33 zugeführten elektrischen Leistung gemäß der Elementtemperatur der Lambda-Sonde 30 oder der Heizelementtemperatur, um die Heizfunktion des Heizelementes 33 zu regeln.

Nachstehend wird ausführlich die an die Lambda-Sonde 30 angelegte Steuerspannung für das Erfassen des Elementwiderstandes beschrieben. Der Mikroprozessor 20 erzeugt das digitale Vorspannungssteuersignal  $V_r$ . Dieses Vorspannungssteuersignal  $V_r$  wird nach dem Durchlaufen durch den D/A-Umsetzer 21 und das Tiefpaßfilter 22 in ein analoges einzelnes bzw. impulsförmiges Spannungssignal mit einer vorbestimmten Zeitkonstante umgewandelt. In Fig. 4A und 4B sind Beispiele für Signalkurvenformen der Ausgangsspannung  $V_b$  aus dem D/A-Umsetzer 21 und der Ausgangsspannung  $V_c$  aus den Tiefpaßfilter 22 bei dem Erfassen des Elementwiderstandes dargestellt. In diesem Fall wird gemäß Fig. 4A und 4B zu einem Zeitpunkt  $t_1$  die Ausgangsspannung  $V_b$  aus dem D/A-Umsetzer 21 auf einen Wert umgeschaltet, der um  $\Delta V$  höher ist als die zum Zeitpunkt  $t_1$  angelegte Spannung  $V_p$ , nämlich die Spannung für das Erfassen des Verhältnisses  $A/F$ . Zu einem Zeitpunkt  $t_2$  wird nur für eine kurze Zeitdauer, welche kürzer als die Zeitdauer zwischen den Zeitpunkten  $t_1$  und  $t_2$  ist, die Ausgangsspannung auf einen Wert umgeschaltet, der niedriger als die vorstehend genannte angelegte Spannung  $V_p$  ist. Dann wird zu einem Zeitpunkt  $t_3$  die Ausgangsspannung  $V_b$  auf ihren ursprünglichen Spannungswert  $V_p$  zurückgestellt. Andererseits ist das Ausgangssignal  $V_c$  aus den Tiefpaßfilter 22 ein Signal, dessen Hochfrequenzkomponenten dadurch beseitigt sind, daß eine vorbestimmte Zeitkonstante eingeführt ist.

Bei diesem Ausführungsbeispiel ist als Spannung mit einer vorbestimmten Zeitkonstante ein Signal bezeichnet, welches nur eine einzige Frequenzkomponente enthält. Die Bestimmung dieser Frequenzkomponente wird nachstehend beschrieben.

Die Fig. 5 ist ein Äquivalenzschaltbild der Lambda-Sonde 30. Im einzelnen ist in Fig. 5 die Äquivalenzschaltung des Sensorelementes 32 dargestellt. In dieser Schaltung sind der Teilchenwiderstand der Trockenelektrolytschicht 34 gegenüber Sauerstoffionen mit  $R_g$  der Teilchenwiderstand und die interkristalline Kapazität der Trockenelektrolytschicht 34 an deren Kornrenzflächen jeweils mit  $R_i$  und  $C_i$  und der Elektrodenrenzflächenwiderstand und die Elektrodenrenzkapazität der Platinelektroden-schichten 36 und 37 jeweils mit  $R_f$  und  $C_f$  bezeichnet.

Die Fig. 6 zeigt die komplexen Impedanzkennlinien der in Fig. 5 dargestellten Lambda-Sonde 30. In dieser Fig. 6 ist auf der X-Achse ein realer Teil  $Z_{real}$  der komplexen Impedanz dargestellt, während auf der Y-Achse ein imaginärer Teil  $Z_{imaginär}$  der komplexen Impedanz dargestellt ist. Die Impedanz  $ZAC$  ist durch die folgende Gleichung ausgedrückt:

$$ZAC = Z_{real} + j \cdot Z_{imaginär} \quad (1)$$

In Fig. 6 ist an einem Punkt A die Impedanz bei einer Änderung der angelegten Spannung mit einer Frequenz von 1 kHz dargestellt. Wenn die Frequenz niedriger als 1 kHz ist, ist die Impedanzkennlinie diejenige rechts von dem Punkt A, während bei einer Frequenz über 1 kHz die Impedanzkennlinie diejenige links von dem Punkt A ist. Das heißt, wenn die Frequenz nahe an 1 kHz liegt, wird als Impedanz die Summe aus  $R_g$  und  $R_i$  gemessen.

Die Fig. 7 ist eine Abwandlung der Fig. 6, wobei auf der X-Achse die Frequenz dargestellt ist und auf der Y-Achse die Impedanz  $ZAC$  aufgetragen ist. Gemäß der Darstellung in Fig. 7 konvergiert die Impedanz  $ZAC$  der Lambda-Sonde in dem Frequenzbereich von 1 kHz bis 10 MHz auf den bestimmten Wert  $R_g$  der kleiner als ( $R_g + R_i$ ) ist. Somit ist der Frequenzbereich von 1 kHz bis 10 MHz am besten geeignet da in diesem Bereich die Impedanz  $ZAC$  unabhängig von der Frequenz  $f$  des Änderns oder Schaltens der angelegten Spannung konstant ist. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird unter Ansetzen der Frequenz auf 1 kHz die Zeitkonstante durch das Tiefpaßfilter 22 auf ungefähr 159  $\mu s$  eingestellt, um die entsprechend ansteigende Kurvenform zu erhalten (Zeit  $t_1$  bis  $t_2$  in Fig. 4B). Die untere Grenze der Zeitkonstante, nämlich die obere Grenze der Frequenz ist von der Verarbeitungsfähigkeit des D/A-Umsetzers 21 oder des A/D-Umsetzers 23 abhängig. Durch Verwendung schnellerer Schaltungen kann die untere Grenze der Zeitkonstante weiter gesenkt werden.

Aus diesen Gründen erzeugt bei dem Ändern der an die Lambda-Sonde 30 anzulegenden Spannung der Mikroprozessor 20 ein digitales Signal, welches Frequenzkomponenten mit ungefähr 1 KHz hat. Dieses digitale Signal ist nach dem Durchlaufen des D/A-Umsetzers 21 und des Tiefpaßfilters 22 in ein Signal mit einer vorbestimmten Zeitkonstante (von ungefähr 159  $\mu s$ ) umgewandelt. Das von dem Mikroprozessor 20 abgegebene Steuersignal kann verhältnismäßig einfach erzeugt werden, da es Rechteckform hat.

Wenn andererseits von der Spannung für das Erfassen des Elementwiderstandes auf die Spannung für das Erfassen des Verhältnisses  $A/F$  zurückgeschaltet wird und dieses Schalten auf die Spannung für das Erfassen des Verhältnisses auf direkte Weise erfolgt, erreicht der Sensorstrom unmittelbar nach diesem Schalten infolge der Einwirkungen von in den vorstehend beschriebenen Kapazitäten  $C_i$  und  $C_f$  gespeicherten elektrischen Ladungen sofort seinen Spitzenwert, so daß daher die Zeit

verlängert ist, welche für das Konvergieren des Stromes auf seinen ursprünglichen Wert erforderliche ist. Infolgedessen wird bei diesem Ausführungsbeispiel bei dem Schalten von der Spannung für das Erfassen des Elementwiderstandes auf die ursprüngliche Spannung, welche die Spannung für das Erfassen des Verhältnisses A/F ist, für eine kurze Zeitdauer (von  $t_2$  bis  $t_3$  nach Fig. 4A) eine Spannung mit einer zur Polarität der zuvor (in der Zeit  $t_1$  bis  $t_2$  nach Fig. 4A) angelegten Spannung entgegengesetzten Polarität angelegt, um innerhalb kurzer Zeitdauer die elektrischen Ladungen in den Kapazitäten  $C_i$  und  $C_f$  vollständig zu entladen und ferner die Zeit für das Stabilisieren des Sensorstromes zu verkürzen. In diesem Fall ist es anzustreben, die Spannung derart zu steuern, daß in dem Sensorelement im wesentlichen die gleiche Menge an elektrischen Ladungen bewegt wird, wenn die angelegte Spannung auf die eine Polung (die die positive oder negative Polung sein kann) und wenn danach die angelegte Spannung auf die andere Polung geschaltet wird. Zu diesem Zweck kann bei dem Schalten der angelegten Spannung diese Spannung positive und negative Kurvenform haben, die zueinander symmetrisch sind.

Als nächstes wird unter Bezugnahme auf das in Fig. 8 dargestellte Schaltbild der Aufbau der Vorspannungssteuerschaltung 40 beschrieben. Gemäß Fig. 8 enthält die Vorspannungssteuerschaltung 40 hauptsächlich einen Bezugsspannungsschaltkreis 44, eine erste Spannungszuführschaltung 45, eine zweite Spannungszuführschaltung 47 und die Strommeßschaltung 50. Der Bezugsspannungsschaltkreis 44 teilt eine konstante Spannung  $V_{cc}$  mit Spannungsteilerwiderständen 44a und 44b auf eine konstante Bezugsspannung  $V_a$  herunter.

Die erste Spannungszuführschaltung 45 ist durch eine Spannungsfolgerschaltung gebildet. Diese erste Spannungszuführschaltung 45 führt eine Spannung, die gleich der Bezugsspannung  $V_a$  des Bezugsspannungsschaltkreises 44 ist, einem Anschluß 42 der Lambda-Sonde 30 zu, der mit der in Fig. 2 dargestellten atmosphärenseitigen Elektrodenschicht 37 verbunden ist. Im einzelnen enthält die erste Spannungszuführschaltung 45 einen Rechenverstärker 45a, dessen nicht invertierender Eingangsanschluß mit einem Spannungsteilerpunkt zwischen den Spannungsteilerwiderständen 44a und 44b verbunden ist und dessen invertierender Eingangsanschluß mit dem einen Anschluß 42 der Lambda-Sonde 30 verbunden ist, einen Widerstand 45b, der mit einem Anschluß an den Ausgangsanschluß des Rechenverstärkers 45a angeschlossen ist, einen NPN-Transistor 45c und einen PNP-Transistor 45d. Die Basen des NPN-Transistors 45c und des PNP-Transistors 45d sind an den anderen Anschluß des Widerstandes 45b angeschlossen. Der Kollektor des NPN-Transistors 45c ist an die konstante Speisespannung  $V_{cc}$  angeschlossen und der Emitter desselben ist über einen Strommeßwiderstand 50a mit dem einen Anschluß der Lambda-Sonde 30 verbunden. Dieser Strommeßwiderstand 50a stellt die Strommeßschaltung 50 dar. Der Emitter des PNP-Transistors 45d ist mit dem Emitter des NPN-Transistors 45c verbunden, während der Kollektor des PNP-Transistors 45d mit Masse verbunden ist.

Die zweite Spannungszuführschaltung 47 ist gleichfalls durch eine Spannungsfolgerschaltung gebildet. Diese zweite Spannungszuführschaltung 47 führt eine Spannung, die gleich der Ausgangsspannung  $V_c$  aus den Tiefpaßfilter 22 ist, dem anderen Anschluß 41 der Lambda-Sonde 30 zu, der mit der in Fig. 2 dargestellten

abgasseitigen Elektrodenschicht 36 verbunden ist. Im einzelnen enthält die zweite Spannungszuführschaltung 47 einen Rechenverstärker 47a, dessen nicht invertierender Eingangsanschluß mit den Ausgangsanschluß des Tiefpaßfilters 22 verbunden ist und dessen invertierender Eingangsanschluß mit dem anderen Anschluß 41 der Lambda-Sonde 30 verbunden ist, einen Widerstand 47b, der mit einem Anschluß an den Ausgangsanschluß des Rechenverstärkers 47a angeschlossen ist, einen NPN-Transistor 47c und einen PNP-Transistor 47d. Die Basen des NPN-Transistors 47c und des PNP-Transistors 47d sind beide mit dem anderen Anschluß des Widerstandes 47b verbunden. Der Kollektor des NPN-Transistors 47c ist an die konstante Spannung  $V_{cc}$  angeschlossen und der Emitter dieses Transistors 47c ist mit dem anderen Anschluß der Lambda-Sonde 30 verbunden. Der Emitter des PNP-Transistors 47d ist mit dem Emitter des NPN-Transistors 47c verbunden, während der Kollektor des Transistors 47c mit Masse verbunden ist.

Bei dem vorstehend beschriebenen Aufbau wird dem einen Anschluß 42 der Lambda-Sonde 30 ständig die konstante Spannung  $V_a$  zugeführt. Wenn dem anderen Anschluß 41 der Lambda-Sonde 30 über das Tiefpaßfilter 22 eine Spannung  $V_c$  zugeführt wird, die niedriger als die konstante Spannung  $V_a$  ist, erhält die Lambda-Sonde 30 eine positive Vorspannung. Wenn dem anderen Anschluß der Lambda-Sonde 30 über das Tiefpaßfilter 22 eine Spannung  $V_c$  zugeführt wird, die höher als die konstante Spannung  $V_a$  ist, wird die Lambda-Sonde 30 negativ vorgespannt.

Nachstehend wird die Funktion der Luft/Brennstoff-Verhältnis-Meßeinrichtung mit dem vorangehend beschriebenen Aufbau erläutert. Die Fig. 9 ist ein Ablaufdiagramm einer Steuerprozedur gemäß diesem Ausführungsbeispiel. Diese Steuerprozedur wird auf den Beginn der Stromversorgung des Mikroprozessors 20 hin ausgeführt. Gemäß Fig. 9 ermittelt der Mikroprozessor 20 in einem Schritt 100, ob nach der letzten Erfassung des Luft/Brennstoff-Verhältnisses A/F eine vorbestimmte Zeit  $T_1$  abgelaufen ist. Die vorbestimmte Zeit  $T_1$  entspricht der Frequenz für das Erfassen des Verhältnisses A/F. Vorzugsweise wird  $T_1$  auf z. B. 2 bis 4 ms eingestellt. Wenn nach dem letzten Erfassen des Verhältnisses A/F die vorbestimmte Zeit  $T$  abgelaufen ist, erhält der Mikroprozessor 20 bei dem Schritt 100 eine positive Antwort und die Steuerung schreitet zu einem Schritt 110 weiter. Bei dem Schritt 110 wird von dem Mikroprozessor 20 der durch die Strommeßschaltung 50 erfaßte Sensorstrom  $I_p$  (Grenzstrom- bzw. Schwellenwertstrom) aufgenommen und unter Anwendung eines im voraus festgelegten Kennlinienfeldes ein entsprechender Wert des Luft/Brennstoff-Verhältnisses der Maschine 10 bestimmt, welcher dem Sensorstrom  $I_p$  entspricht. Unter Anwenden der in Fig. 3 dargestellten Kennlinie  $L_1$  legt der Mikroprozessor 20 an die Lambda-Sonde 30 eine Spannung  $V_p$  an welche dem erfaßten Verhältnis A/F entspricht.

Im weiteren ermittelt der Mikroprozessor 20 in einem Schritt 120, ob nach dem letzten Erfassen des Elementwiderstandes eine vorbestimmte Zeit  $T_2$  abgelaufen ist. Die vorbestimmte Zeit  $T_2$  entspricht der Frequenz der Erfassung des Elementwiderstandes. Diese vorbestimmte Zeit wird selektiv beispielsweise gemäß dem Betriebszustand der Maschine 10 eingestellt. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird normalerweise dann, wenn eine verhältnismäßig kleine Änderung des Verhältnisses A/F auftritt, nämlich der Maschinenbetriebszustand

normal ist, die vorbestimmte Zeit T2 auf 2 s eingestellt. Andererseits wird bei einer plötzlichen Änderung des Verhältnisses A/F, nämlich einem Übergangsbetriebszustand der Maschine die Zeit T2 auf 128 ms eingestellt. Wenn der Mikroprozessor 20 bei dem Schritt 120 eine negative Bestimmung erhält, wird bei jedem Ablauf der vorstehend beschriebenen vorbestimmten Zeit das Verhältnis A/F erfaßt. Wenn der Mikroprozessor 20 bei dem Schritt 120 eine positive Antwort erhält, wird darauffolgend in einem Schritt 130 der Elementwiderstand gemessen.

Unter Bezugnahme auf eine in Fig. 10 dargestellte Subroutine wird eine Prozedur für das Messen des Elementwiderstandes beschrieben. Gemäß Fig. 10 ermittelt der Mikroprozessor 20 in einem Schritt 131, ob das Gemisch mit dem gegenwärtigen Verhältnis A/F ein fettes oder ein mageres Gemisch ist. Wenn das Verhältnis A/F ein Magergemisch anzeigt, schaltet der Mikroprozessor 20 in einem Schritt 132 die angelegte Spannung  $V_p$ , nämlich die Verhältnismessspannung von negativ auf positiv. Wenn das Verhältnis A/F einem fetten Gemisch entspricht, wechselt bei einem Schritt 133 die angelegte Spannung  $V_p$  von positiv auf negativ, wobei das Vorspannungssteuersignal  $V_r$  abgeändert wird.

Dann nimmt der Mikroprozessor 20 bei einem Schritt 134 nach dem Schalten der angelegten Spannung den Betrag  $\Delta V$  der Spannungsänderung und den Betrag  $\Delta I$  der Änderung des durch den Strommeßschaltkreis 50 erfaßten Sensorstromes auf. In einem nachfolgenden Schritt 135 wird von dem Mikroprozessor 20 aus  $\Delta V$  und  $\Delta I$  der Elementwiderstand R berechnet ( $R = \Delta V / \Delta I$ ). Nach dem Schritt 135 kehrt die Steuerung zu der ursprünglichen Hauptroutine zurück.

In Fig. 11A bis 11D sind Kurvenformen von Spannungen, die an die Lambda-Sonde 30 angelegt werden (Ausgangsspannungen  $V_c$  nach dem Durchlaufen des Tiefpaßfilters 22) und Kurvenformen des Sensorstromes dargestellt, der bei dem Anlegen dieser Spannungen fließt. Das heißt, wenn das Verhältnis A/F dem Magergemisch entspricht, z. B. gleich 18 ist, wird gemäß Fig. 11A und 11B die an die Lambda-Sonde 30 angelegte Spannung um einen Spannungsbetrag  $\Delta V$  zur negativen Polung hin umgeschaltet und es wird eine entsprechende Stromänderung  $\Delta I$  des Stromwertes zu der negativen Polung hin erfaßt. Die angelegte Spannung a [V] und der Sensorstrom b [A], die in Fig. 11A und 11B dargestellt sind, entsprechen jeweils Punkten a bzw. b in Fig. 3. Falls andererseits das Verhältnis A/F dem fetten Gemisch entspricht, z. B. gleich 13 ist, wird gemäß der Darstellung in Fig. 11C und 11D die an die Lambda-Sonde 30 angelegte Spannung um den Spannungsbetrag  $\Delta V$  zu der positiven Polung hin umgeschaltet und es wird eine entsprechende Stromänderung  $\Delta I$  des Stromwertes zu der positiven Polung hin erfaßt. Die angelegte Spannung c und der Sensorstrom d, die in Fig. 11C und 11D dargestellt sind, entsprechen jeweils Punkten c bzw. d in Fig. 3.

Da hierbei der Sensorstrom bei dem Magergemisch-Verhältnis A/F gemäß einer Spannungsänderung zu der negativen Seite hin bzw. bei dem Fettgemisch-Verhältnis A/F gemäß einer Spannungsänderung zu der positiven Seite hin ermittelt wird, gelangt der Sensorstrom niemals aus dem (in Fig. 3 dargestellten) Dynamikbereich des Strommeßschaltkreises 50 heraus.

Andererseits besteht gemäß der Darstellung in Fig. 12 ein bestimmter Zusammenhang zwischen dem Sensorelementwiderstand R, der auf die vorstehend beschriebene Weise ermittelt werden kann, und der Sen-

sorelementtemperatur. Das heißt, sobald die Elementtemperatur sinkt, steigt der Elementwiderstand R beträchtlich an. Gemäß der Darstellung in dieser Figur entspricht ein Elementwiderstand R von 90  $\Omega$  einer Elementtemperatur von 600°C welche eine Temperatur ist, bei der die Lambda-Sonde 30 in einem gewissen Ausmaß aktiviert ist, während ein Elementwiderstand R von 30  $\Omega$  einer Elementtemperatur von 700°C entspricht, die eine Temperatur ist, bei der die Lambda-Sonde 30 vollständig aktiviert ist. Bei der Heizelementsteuerung wird der Betrag der Leistung berechnet, die dem Heizelement 33 zum Aufheben einer Differenz zwischen dem berechneten Elementwiderstand R und einem Widerstandssollwert (von beispielsweise 30  $\Omega$ ) zuzuführen ist, bei dem die Lambda-Sonde 30 vollständig aktiviert ist, und zum Steuern des Einschaltfaktors der Leistungszufuhr zu dem Heizelement 33 herangezogen. Das heißt, es wird eine auf der Elementtemperatur basierende Rückführungsregelung ausgeführt.

Die sich durch das vorstehend beschriebene Ausführungsbeispiel bietenden Vorteile werden nachstehend aufgezählt:

(a) Bei diesem Ausführungsbeispiel wird die an die Lambda-Sonde 30 zum Erfassen des Luft/Brennstoff-Verhältnisses angelegte Spannung auf die Spannung für das Messen des Sensorelementwiderstandes der Lambda-Sonde 30 durch das Einstellen einer vorbestimmten Zeitkonstante für diese Spannungsänderung verändert und der Elementwiderstand des Sensorelementes der Lambda-Sonde 30 wird aus der Spannungsänderung und einer durch die Spannungsänderung verursachten Stromänderung ermittelt. Daher kann gemäß diesem Ausführungsbeispiel an dem Sauerstoffsensor während des Umschaltens von der angelegten Spannung auf die Spannung zum Messen des Elementwiderstandes der steile Stromanstieg verhindert werden, der ein bei dem Stand der Technik zu beobachtendes Problem ist. Infolge dessen können die Sensorstromwerte auf genaue Weise gemessen werden, was eine hochgenaue Erfassung des Elementwiderstandes der Lambda-Sonde 30 ermöglicht. Da in diesem Fall der Elementwiderstand mittels einer einzigen Wechselspannungswelle erfaßt wird, die während des Prozesses zum Erfassen des Luft/Brennstoff-Verhältnisses angelegt wird, ist die für das Erfassen des Elementwiderstandes erforderliche Zeit verkürzt. Ferner ist die Genauigkeit der Erfassung des Verhältnisses A/F nicht beeinträchtigt und bleibt auf einem beträchtlich hohen Wert selbst dann, wenn die Maschine in deren Übergangszustand betrieben wird.

(b) Bei diesem Ausführungsbeispiel wird die vorangehend genannte Zeitkonstante auf einen Wert (von weniger als 159  $\mu s$ ) angesetzt der die Grenzfrequenz für das Schalten der Spannung zum Messen des Elementwiderstandes auf 1 kHz setzt. Infolge dessen wird gemäß der Darstellung in Fig. 7 der Frequenzgang der Lambda-Sonde 30 gleichmäßig. Zum weiteren Stabilisieren des Impedanzverlaufes ist es anzustreben, die Zeitkonstante innerhalb eines Bereiches von 32 bis 53  $\mu s$  einzuschränken, der dem Frequenzbereich von 3 kHz bis 5 kHz entspricht.

(c) Bei diesem Ausführungsbeispiel wird zum Anlegen eines Wechselspannungssignals mit einer vorbestimmten Zeitkonstante an die Lambda-Sonde



30 das Tiefpaßfilter 22 verwendet. Infolge dessen ist es möglich, den erwünschten Zweck mit einem weitaus einfacheren Aufbau zu erzielen. In diesem Fall muß der Mikroprozessor 20 lediglich digitale Signale erzeugen und nicht irgendwelche hochwertigen Rechenvorgänge ausführen. Somit ist es möglich, eine Luft/Brennstoff-Verhältnis-Meßeinrichtung zu schaffen, die auf einfache Weise hergestellt werden kann.

(d) Darüber hinaus wird bei der Gestaltung gemäß diesem Ausführungsbeispiel der Elementwiderstand aus einer Stromänderung ermittelt, die durch das Anlegen einer Spannung zu der negativen Seite hin hervorgerufen wird, wenn das Verhältnis A/F einem Magergemisch entspricht. Andererseits wird der Elementwiderstand von einer Stromänderung ausgehend erfaßt, die durch das Anlegen einer Spannung zu der positiven Seite hin hervorgerufen wird, wenn das Verhältnis A/F einem fetten Gemisch entspricht. In jedem Fall wird der Elementwiderstand durch Nutzung einer Stromänderung erfaßt, die in den Dynamikbereich hinein gerichtet ist, welcher von vorne herein für die Strommeßschaltung 50 angesetzt ist. Somit kann eine durch Stromänderungen außerhalb des Dynamikbereiches verursachte Verschlechterung der Meßgenauigkeit verhindert werden. Eine weitere vorteilhafte Wirkung besteht ferner darin, daß der Dynamikbereich auf einem minimalen Bereich gehalten werden kann, das heißt, der Dynamikbereich innerhalb eines schmalen Bereiches angesetzt werden kann, um eine hohe Meßgenauigkeit der Strommeßschaltung 50 sicherzustellen.

(e) Die Spannungskurvenform wird derart eingestellt, daß bei dem Anlegen einer positiven Spannung und bei dem Anlegen einer negativen Spannung in gleicher Größe an die Lambda-Sonde 30 in dem Sensorelement im wesentlichen die gleiche elektrische Ladungsmenge bewegt wird. Auf diese Weise kann die Konvergenz des Sensorstromes nach dem Beenden der Elementwiderstandsmessung beschleunigt werden.

(f) Wenn gemäß der vorangehenden Beschreibung der Elementwiderstand auf sehr genaue Weise erfaßt werden kann, ist es auch möglich, bei den Regeln der Aktivierung der Lambda-Sonde 30, nämlich der Steuerung der Stromzufuhr zu dem Heizelement 33 unter Ansetzen des erfaßten Elementwiderstandes die Genauigkeit zu verbessern. Außerdem kann der erfaßte Elementwiderstand auch wirkungsvoll zum Beurteilen einer Verschlechterung der Funktionen der Sonde herangezogen werden.

Das Schalten der bei dem Messen des Elementwiderstandes angelegten Spannung kann gemäß der Darstellung in Fig. 13A bis 15D abgewandelt werden. Bei der in Fig. 13A bis 13D dargestellten Variante wird die für das Messen des Elementwiderstandes angelegte Spannung wie bei dem vorangehend beschriebenen Ausführungsbeispiel sowohl auf positive als auch auf negative Spannung geschaltet. Bei dieser Variante werden jedoch das Ausmaß der Spannungsänderung  $\Delta V$  und das Ausmaß der Stromänderung  $\Delta I$  gemäß der zweiten Spannungskurve und nicht wie gemäß der Darstellung in Fig. 11A bis 11D gemäß der ersten Spannungskurve gemessen. Wenn das Verhältnis A/F dem Magergemisch entspricht, z. B. gleich 18 ist, wird gemäß Fig. 13A und 13B die Spannung von positiver auf negative Spannung in

bezug auf die unmittelbar davor angelegte Spannung, nämlich die Spannung für das Erfassen des Verhältnisses A/F geändert und der Elementwiderstand aus dem Betrag  $\Delta V$  der negativen Spannungsänderung und dem Betrag  $\Delta I$  der negativen Stromänderung berechnet. Wenn andererseits das Verhältnis A/F dem fetten Gemisch entspricht, nämlich beispielsweise gleich 13 ist, wird gemäß Fig. 13C und 13D die Spannung von negativer auf positive Spannung in bezug auf die unmittelbar davor angelegte Spannung umgeschaltet und der Elementwiderstand aus dem Betrag  $\Delta V$  der positiven Spannungsänderung und dem Betrag  $\Delta I$  der positiven Stromänderung berechnet.

Ferner wird bei der in Fig. 14A bis 14D dargestellten Variante die angelegte Spannung nur zu einer Seite hin, nämlich entweder zu einer positiven oder zu einer negativen Spannung verändert. Dann werden der Betrag  $\Delta V$  der Spannungsänderung und der Betrag  $\Delta I$  der Stromänderung gemessen. Wenn das Verhältnis A/F dem Magergemisch entspricht, wird gemäß der Darstellung in Fig. 14A und 14B wie bei den jeweiligen vorangehenden Ausführungsbeispielen die angelegte Spannung auf eine negative Spannung eingestellt und der Elementwiderstand aus dem Betrag der Stromänderung und dem Betrag der Spannungsänderung ermittelt. Wenn andererseits das Verhältnis A/F dem fetten Gemisch entspricht, wird gemäß der Darstellung in Fig. 14C und 14D die angelegte Spannung auf eine positive Spannung eingestellt und der Elementwiderstand aus dem Betrag der Stromänderung und dem Betrag der Spannungsänderung ermittelt. Obgleich in diesem Fall die Zeit verlängert ist, die für das Konvergieren des Sensorstromes auf seinen ursprünglichen Grenzstrompegel erforderlich ist, ist für die Erfassung des Elementwiderstandes die Genauigkeit nicht beeinträchtigt.

Bei den in Fig. 13A bis 14D dargestellten Varianten wird wie bei dem vorangehenden ersten Ausführungsbeispiel die negative Sensorstromänderung gemessen, wenn das Verhältnis A/F dem Magergemisch entspricht, wogegen die positive Sensorstromänderung gemessen wird, wenn das Verhältnis A/F dem fetten Gemisch entspricht. Somit kann der Sensorstrom auf genaue Weise innerhalb des Dynamikbereiches des Strommeßschaltkreises 50 gemessen werden. Ferner kann von Anfang an der Dynamikbereich des Strommeßschaltkreises 50 auf einen minimalen Bereich eingestellt werden.

Ferner wird bei einer in Fig. 15A bis 15D dargestellten weiteren Variante die angelegte Spannung sowohl auf die positive als auch auf die negative Spannung eingestellt und es werden der Betrag  $\Delta V$  der Spannungsänderung und der Betrag  $\Delta I$  der Stromänderung gemäß einer Differenz zwischen dem maximalen Wert und dem minimalen Wert gemessen welche bei der Spannungsänderung erhalten werden. Dabei kann zwar der Elementwiderstand im Vergleich zu den anderen Fällen am genauesten gemessen werden, aber es muß für die Strommeßschaltung 50 ein verhältnismäßig großer Dynamikbereich eingestellt werden. In diesem Fall kann die angelegte Spannung unabhängig von dem Wert des Luft/Brennstoff-Verhältnisses zuerst entweder auf die positive oder auf die negative Spannung verändert werden, nämlich entweder die in Fig. 15A oder die in Fig. 15C dargestellte Ausführungsform angewandt werden.

Nachstehend wird die Erfindung gemäß einem zweiten bis sechsten Ausführungsbeispiel beschrieben. Hierbei ist die Erläuterung von Teilen oder dergleichen weggelassen, die mit denjenigen bei dem ersten Ausführungsbeispiel übereinstimmen.

rungsbeispiel identisch sind. Die nachstehende Beschreibung ist daher lediglich auf Unterschiede gegenüber dem ersten Ausführungsbeispiel gerichtet.

Nachstehend wird unter Bezugnahme auf Fig. 16 bis 18 das zweite Ausführungsbeispiel beschrieben. Gemäß der Beschreibung des ersten Ausführungsbeispiels wird der Elementwiderstand ohne Bedingung gemäß einer Stromänderung erfaßt, die bei dem Magergemischverhältnis durch das Anlegen negativer Spannung und bei dem Fettgemischverhältnis durch das Anlegen positiver Spannung hervorgerufen wird. Der vorbestimmte Dynamikbereich der Strommeßschaltung 50 ist jedoch nicht immer in bezug auf das stöchiometrische Luft/Brennstoff-Verhältnis, nämlich das ideale Verhältnis festgelegt. Infolge dessen wird bei diesem zweiten Ausführungsbeispiel die Reihenfolge des Umschaltens der angelegten Spannung auf positive und negative Spannung aufgrund eines als Bezugswert wirkenden vorbestimmten Stromwertes innerhalb des Dynamikbereiches bestimmt.

Die Fig. 16 ist ein Ablaufdiagramm einer Subroutine für das Messen des Elementwiderstandes gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel. Dieses Ablaufdiagramm ist eine Abwandlung des in Fig. 10 dargestellten Ablaufdiagramms für das erste Ausführungsbeispiel. Das heißt, in dem Ablaufdiagramm nach Fig. 16 ist ein Schritt 131 nach Fig. 10 durch einen Schritt 231 ersetzt. Im einzelnen vergleicht der Mikroprozessor 20 bei dem Schritt 231 den bei dem Schritt 110 nach Fig. 9 erfaßten Sensorstrom (Grenzstrom)  $I_p$  mit einem vorbestimmten Bezugswert  $I_{po}$ , der innerhalb des Dynamikbereiches angesetzt ist. Wenn sich hierbei  $I_p \geq I_{po}$  ergibt, schreitet der Prozeß zu dem Schritt 132 weiter, bei dem der Mikroprozessor 20 die angelegte Spannung  $V_p$  zuerst auf eine negative Spannung und dann auf eine positive Spannung umschaltet. Bei  $I_p \leq I_{po}$  ändert der Mikroprozessor 20 bei dem Schritt 133 die angelegte Spannung zuerst auf die positive Spannung und dann auf die negative Spannung. Die anderen Schritte sind die gleichen wie diejenigen gemäß dem Ablaufdiagramm in Fig. 10 und werden daher hier nicht erläutert.

Der Bezugswert  $I_{po}$  kann hierbei derart eingestellt werden, daß er etwa in der Nähe eines Mittelwertes des Dynamikbereiches liegt. Beispielsweise kann der Bezugswert  $I_{po}$  gemäß der Darstellung in Fig. 17 und 18 eingestellt werden. Falls der Dynamikbereich derart angesetzt ist, daß gemäß der Darstellung in Fig. 17 das Verhältnis  $A/F$  über einen sich von dem Fettgemischbereich bis zu dem Magergemischbereich erstreckenden Bereich erfaßt werden kann, kommt der Bezugswert  $I_{po}$  nahe an "Null" (in die Nähe des stöchiometrischen Wertes). Falls andererseits der Dynamikbereich derart angesetzt ist, daß gemäß der Darstellung in Fig. 18 das Verhältnis  $A/F$  nur über den Magergemischbereich hinweg erfaßt wird, kann der Bezugswert  $I_{po}$  auf einige wenige mA eingestellt werden, was einem Verhältnis  $A/F$  von ungefähr 20 entspricht.

Bei dem zweiten Ausführungsbeispiel kann der Ausgangsstrom  $I_p$  der Lambda-Sonde 30 stets ohne Abweichung aus dem Dynamikbereich heraus gemessen und daher der Elementwiderstand  $R$  auf genaue Weise erfaßt werden. Dabei tritt selbst dann, wenn der Dynamikbereich nicht in bezug auf den stöchiometrischen Wert angesetzt ist, wie es gemäß Fig. 18 der Fall ist, keine Verringerung der Genauigkeit bei dem Erfassen des Elementwiderstandes  $R$  auf.

Das dritte Ausführungsbeispiel der Erfindung wird unter Bezugnahme auf Fig. 19 bis 20B beschrieben.

Bei den vorangehenden Ausführungsbeispielen wird zum Messen des Elementwiderstandes die angelegte Spannung  $V_p$  mit einer vorbestimmten Zeitkonstante geändert. Bei den vorangehenden Ausführungsbeispielen ist jedoch die Größe der Spannungsänderung  $\Delta V$  festgelegt (wobei in der US-PS 4 419 190 nur ein oberer Grenzwert für die Spannungsänderung  $\Delta V$  angeführt ist). Daher wird dann, wenn die Elementtemperatur der Lambda-Sonde 30 sinkt oder dergleichen und die Spannungsänderung  $\Delta V$  auf einem festen Wert gehalten wird, der Betrag  $\Delta I$  der Stromänderung klein. Infolge dessen besteht die Wahrscheinlichkeit, daß bei dem Erfassen des Elementwiderstandes  $P$  Fehler auftreten, was zu einer Verschlechterung der Genauigkeit der Elementwiderstandsmessung führen kann.

Der Grund hierfür wird unter Bezugnahme auf Fig. 20A und 20B erläutert. Die Fig. 20A zeigt Spannung/Strom-Kennlinien bei einer verhältnismäßig hohen Elementtemperatur der Lambda-Sonde 30, z. B. bei der Elementtemperatur von ungefähr 700°C. Die Fig. 20B zeigt Spannung/Strom-Kennlinien bei einer verhältnismäßig niedrigen Elementtemperatur, z. B. bei der Elementtemperatur von ungefähr 600°C.

Vergleicht man Fig. 20A und 20B, so ist in einem widerstandsabhängigen Bereich nach Fig. 20B, nämlich in einem Spannungsbereich der unter dem zu der Spannungsachse  $V$  parallelen geraden Abschnitt liegt, die Steilheit eines ersten geraden Abschnittes kleiner als die Steilheit des ersten geraden Abschnittes in dem widerstandsabhängigen Bereich nach Fig. 20A. Dies bedeutet, daß der innere Elementwiderstand ( $R_i$  gemäß der Darstellung in Fig. 20A und 20B) des Sensorelementes gemäß Fig. 20B größer als der innere Elementwiderstand des Sensorelementes gemäß Fig. 20A ist. Daher ist dann, wenn die an die beiden Sensorelemente nach Fig. 20A und 20B angelegte Spannung im gleichen Ausmaß geändert wird, eine Stromänderung  $\Delta I'$  bei dem Sensorelement nach Fig. 20B nur halb so groß wie die Stromänderung  $\Delta I$  bei dem Sensorelement nach Fig. 20A. Somit besteht die Wahrscheinlichkeit, daß bei dem Erfassen des Ausgangsstromes Fehler auftreten, was zu einer fehlerhaften Erfassung des Elementwiderstandes führen kann.

Demgemäß wird bei diesem Ausführungsbeispiel die Amplitude der Spannungsänderung  $\Delta V$  gemäß dem Elementwiderstand  $R$  abgeändert, um sicherzustellen, daß der gleiche Pegel des Ausgangsstroms, der bei hoher Elementtemperatur erreicht wird, auch dann erzielt werden kann, wenn die Elementtemperatur niedrig ist, nämlich der Innenwiderstand  $R_i$  groß ist. Gemäß Fig. 20B kann die Stromänderung  $\Delta I$  dadurch erreicht werden, daß der Betrag der Spannungsänderung auf  $\Delta V'$  eingestellt wird ( $\Delta V' \geq \Delta V$ ).

Die Fig. 19 ist ein Ablaufdiagramm einer erfindungsgemäßen Subroutine für die Elementwiderstandsmessung. Dieses Ablaufdiagramm ist eine teilweise Abwandlung des in Fig. 16 dargestellten Ablaufdiagramms bei dem zweiten Ausführungsbeispiel. Das heißt, es wurde ein Schritt 230 hinzugefügt. Gemäß dem in Fig. 19 dargestellten Ablaufdiagramm wird bei dem Schritt 230 von dem Mikroprozessor 20 zuerst der bei dem vorangehenden Prozeß erfaßte Elementwiderstand  $R$  mit einem vorbestimmten Proportionalkoeffizienten  $k$  multipliziert, um die Spannungsänderung  $\Delta V$  zu erhalten ( $\Delta V = k \times R$ ). Dann wird bei dem Schritt 132 oder 133 die Spannung  $V_p$  gemäß der bei dem Schritt 230 berechneten Spannungsänderung  $\Delta V$  geändert. Die Prozesse in den Schritten 231 und 132 bis 135 nach Fig. 19 sind die

gleichen wie die schon vorangehend beschriebenen und werden daher hier nicht erläutert.

Der Proportionalkoeffizient  $k$  ist eine Konstante, die im voraus nach dem folgenden Konzept bestimmt wird: Es kann vorteilhaft sein, den Proportionalkoeffizienten  $k$  zu vergrößern, um die Genauigkeit bei der Erfassung des Elementwiderstandes  $R$  zu verbessern. Die Stromänderung  $\Delta I$  kann jedoch nicht auf genaue Weise erfaßt werden, falls sie aus dem Dynamikbereich der Strommeßschaltung 50 heraustritt. Das heißt,  $\Delta I$  darf nicht die Hälfte der Breite des Dynamikbereiches überschreiten. Vorzugsweise wird  $\Delta I$  auf ungefähr ein Viertel der Breite des Dynamikbereiches eingestellt.

Bei dem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung wird die Spannungsänderung  $\Delta V$  für das Messen des Elementwiderstandes derart eingestellt, daß sie größer ist, wenn dieser Elementwiderstand  $R$  größer wird. Somit wird der Betrag der Stromänderung  $\Delta I$  selbst dann nicht drastisch verringert, wenn beispielsweise die Elementtemperatur niedrig ist, nämlich der Innenwiderstand des Elementes groß ist, und somit wird eine Verschlechterung der Genauigkeit bei dem Erfassen des Elementwiderstandes  $R$  verhindert.

Nachstehend wird unter Bezugnahme auf Fig. 21A bis 29 das vierte Ausführungsbeispiel beschrieben. Bei den vorangehend beschriebenen Ausführungsbeispielen wird das Vorspannungssteuersignal  $V_r$  für die an die Lambda-Sonde 30 anzulegende Spannung stets über den D/A-Umsetzer 21 und das Tiefpaßfilter 22 geleitet. Gemäß der vorangehenden Erläuterung wird die Zeitkonstante des Tiefpaßfilters 22 auf geeignete Weise für das Messen des Innenwiderstandes des Sensorelementes eingestellt. Wenn jedoch die Zeitkonstante des Tiefpaßfilters 22 unverändert für das Erfassen des Luft/Brennstoff-Verhältnisses angewandt wird, könnten bei dem Erfassen des Verhältnisses  $A/F$  beträchtliche Fehler auftreten. Der Grund hierfür wird unter Bezugnahme auf Fig. 21A und 21B erläutert.

In Fig. 21A und 21B sind Änderungen der angelegten Spannung  $V_p$  und des Sensorstromes  $I_p$  bei dem Erfassen des Verhältnisses  $A/F$  dargestellt. Gemäß Fig. 21A und 21B ändert sich das Verhältnis  $A/F$  von dem Verhältnis für das fette Gemisch zu dem Verhältnis für das Magergemisch. Das heißt, die Werte von  $V_p$  und  $I_p$  bewegen sich entlang der in Fig. 3 dargestellten geraden Kennlinie  $L_1$  nach rechts oben in Nachführung mit einem Grenzstrombereich. Gemäß Fig. 21A wird die angelegte Spannung  $V_p$  bei jedem Zeitabschnitt  $T_a$  stufenweise größer. In Fig. 21A ist die Ausgangsspannung  $V_b$  des D/A-Umsetzers 21 nach Fig. 1 durch gestrichelte Linien dargestellt, während die Ausgangsspannung  $V_c$  des Tiefpaßfilters 22, nämlich die direkt an die Lambda-Sonde 30 angelegte Spannung durch eine ausgezogene Linie dargestellt ist. In diesem Fall weicht gemäß Fig. 21B der Sensorstrom  $I_p$  von dem durch eine gestrichelte Linie dargestellten wahren Wert des Grenzstromes ab und wird größer. Diese Abweichung beruht auf dem Frequenzgang der Lambda-Sonde 30, der unter Bezugnahme auf Fig. 5, 6 und 7 erläutert wurde. Das Ausmaß der Abweichung ist durch die Zeitkonstante des Tiefpaßfilters 22 bestimmt.

Wenn bei der Änderung des Verhältnisses  $A/F$  der Sensorstrom  $I_p$  unmittelbar nach dem Schalten der angelegten Spannung  $V_p$ , nämlich zu den in Fig. 21B durch Vollkreise dargestellten Zeitpunkten erfaßt wird, entsteht kein Meßfehler, da der Sensorstrom nahe an dem wahren Wert des Grenzstromes liegt. Falls jedoch das Verhältnis  $A/F$  in Abständen erfaßt wird, die kürzer als

der Zeitabschnitt  $T_a$  sind, in welchem die angelegte Spannung  $V_p$  geändert wird, hat der Sensorstrom  $I_p$  die in Fig. 21B durch leere Kreise dargestellten Werte, welche von den wahren Werten abweichen. Infolge dessen treten Fehler bei der Erfassung des Verhältnisses  $A/F$  auf.

Bei diesem vierten Ausführungsbeispiel, welches in Anbetracht des vorstehend genannten Problems ausgelegt wurde, wird bei dem Erfassen des Verhältnisses  $A/F$  der hierbei gemäß der Darstellung in Fig. 21B entstehende Fehler dadurch auf ein Mindestmaß herabgesetzt, daß ein anderes Tiefpaßfilter eingesetzt wird, dessen Zeitkonstante größer ist als diejenige des für das Erfassen des Elementwiderstandes verwendeten Tiefpaßfilters.

Nachstehend wird der Grund dafür erläutert, daß der bei dem Erfassen des Verhältnisses  $A/F$  entstehende Fehler geringer wird, wenn die Zeitkonstante des Tiefpaßfilters vergrößert wird. Eine Vergrößerung der Zeitkonstante des Tiefpaßfilters bedeutet eine Verringerung der Frequenz einer Änderung der an die Lambda-Sonde 30 angelegten Spannung. Wenn die Spannungsanlegefrequenz verringert wird, wird gemäß der Darstellung in Fig. 23 die Impedanz ZAC größer. Wenn die Impedanz ZAC größer wird, wird bei dem Ändern der angelegten Spannung der Betrag der Stromänderung geringer. Daher wird gemäß der Darstellung in Fig. 22A und 22B die Abweichung des Grenzstromes von seinem wahren Wert gemäß Fig. 21B geringer, wodurch der Fehler bei dem Erfassen des Verhältnisses  $A/F$  verringert wird. Ein Punkt A ( $f = 1$  kHz) in Fig. 23 stellt eine Grenzfrequenz dar, die einer Zeitkonstante des Tiefpaßfilters entspricht, welches für das Messen des Elementwiderstandes geeignet ist, und ein Punkt B (bei der Frequenz  $f = 10$  Hz) stellt eine Grenzfrequenz dar, die einer Zeitkonstante des Tiefpaßfilters entspricht, welches für die Erfassung des Verhältnisses  $A/F$  geeignet ist.

Aus der vorstehenden Beschreibung ist ersichtlich, daß dieses Problem durch Ändern der Zeitkonstante des Tiefpaßfilters 22 gemäß Fig. 1 in Abhängigkeit davon gelöst werden kann, ob der Elementwiderstand oder das Luft/Brennstoff-Verhältnis  $A/F$  erfaßt werden soll. Eine vereinfachte Gestaltung des Tiefpaßfilters 22 ist in Fig. 24 dargestellt. Das heißt, bei der Gestaltung gemäß Fig. 24 wird die Zeitkonstante mit einem Schalter 26 durch Schalten eines Widerstandes des Tiefpaßfilters 22 auf  $R_1$  oder  $R_2$  umgeschaltet (wobei  $R_1 \geq R_2$  ist). Im einzelnen wird bei dem Erfassen des Verhältnisses  $A/F$  der in der Fig. 24 dargestellte Schaltzustand aufrechterhalten, um die Zeitkonstante zu vergrößern. Andererseits wird bei dem Messen des Elementwiderstandes der Schalter 26 umgeschaltet, um die Zeitkonstante zu verringern. Alternativ kann zum Einstellen der Zeitkonstante die Kapazität eines Kondensators geändert werden.

Es kann jedoch schwierig sein, wegen der bei dem Ein- und Ausschalten des Schalters 26 hervorgerufenen Störung, der sich aus dem Durchlaßwiderstand des Schalters 26 ergebenden Abweichung der Zeitkonstante und dergleichen das Verhältnis  $A/F$  oder den Elementwiderstand auf genaue Weise zu erfassen. Daher kann bei diesem Ausführungsbeispiel eine Schaltung ohne Schalter gemäß der Darstellung in Fig. 25 verwendet werden.

Die Fig. 25 ist eine Darstellung, die derjenigen in Fig. 1 für das erste Ausführungsbeispiel gleichartig ist. Ein wichtiger Unterschied des in Fig. 25 dargestellten

Systems von dem System nach Fig. 1 besteht darin, daß in dem System nach Fig. 25 zwei Tiefpaßfilter 22a und 22b und zwei D/A-Umsetzer 21a und 21b vorgesehen sind. Es ist anzumerken, daß das Tiefpaßfilter 22a eine Zeitkonstante haben muß, die im wesentlichen gleich derjenigen des Tiefpaßfilters 22 nach Fig. 1 ist, und daß das Tiefpaßfilter 22b eine Zeitkonstante haben muß, die größer ist als diejenige des Tiefpaßfilters 22a.

Hierbei erzeugt der Mikroprozessor 20 ein erstes Vorspannungssteuersignal Vr1 für das Messen des Elementwiderstandes R und ein zweites Vorspannungssteuersignal Vr2 für das Erfassen des Verhältnisses A/F. Die Vorspannungssteuersignale Vr1 und Vr2 werden jeweils den D/A-Umsetzern 21a und 21b zugeführt. Durch die D/A-Umsetzer 21a und 21b werden die Vorspannungssteuersignale Vr1 und Vr2 in jeweilige analoge Signale Vb1 und Vb2 umgesetzt deren Hochfrequenzkomponenten durch die Tiefpaßfilter 22a und 22b unterdrückt werden. Die sich dann jeweils ergebenden Ausgangsspannungen Vc1 und Vc2 werden der Vorspannungssteuerschaltung 40 zugeführt. Durch die Vorspannungssteuerschaltung 40 werden die Ausgangsspannungen Vc1 und Vc2 verstärkt und dann an die Anschlüsse angelegt, die jeweils mit der atmosphärenseitigen bzw. der abgasseitigen Elektrode der Lambda-Sonde 30 verbunden sind.

Die Fig. 26 ist ein Schaltbild der Vorspannungssteuerschaltung 40 gemäß diesem Ausführungsbeispiel. Ein Unterschied der Vorspannungssteuerschaltung 40 gemäß diesem Ausführungsbeispiel gegenüber der in Fig. 8 dargestellten Vorspannungssteuerschaltung 40 gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel besteht darin, daß kein Bezugsspannungsschaltkreis 44 für die Abgabe einer Festspannung an den Rechenverstärker 45a der ersten Spannungszuführungsschaltung 45 vorgesehen ist und dem nicht invertierenden Eingangsanschluß dieses Rechenverstärkers 45a die Ausgangsspannung Vc2 aus dem zusätzlichen Tiefpaßfilter 22b zugeführt wird. Die Ausgangsspannung Vc2 des Tiefpaßfilters 22b wird an den Anschluß 42, nämlich den mit der atmosphärenseitigen Elektrodenschicht 32 verbundenen Anschluß der Lambda-Sonde 30 angelegt.

Nachstehend wird die Funktion des Mikroprozessors 20 unter Bezugnahme auf die in Fig. 27 und 28 dargestellten Ablaufdiagramme beschrieben.

In Fig. 27 ist das Ablaufdiagramm einer Subroutine für das Erfassen eines Grenzstromes, nämlich eines Luft/Brennstoff-Verhältnisses A/F dargestellt. Dieses Ablaufdiagramm zeigt ausführlich den Schritt 110 nach Fig. 9. Gemäß Fig. 27 erfaßt der Mikroprozessor 20 in einem Schritt 111 zuerst gemäß einem Meßergebnis der in Fig. 26 dargestellten Strommeßschaltung 50 einen über die Lambda-Sonde 30 fließenden Grenzstrom Ip. Dann ermittelt der Mikroprozessor 20 in einem Schritt 112, ob seit der letzten Änderung der angelegten Spannung Vp eine vorbestimmte Zeit T3 verstrichen ist. Das heißt, die vorbestimmte Zeit T3 ist der Zeitabstand zwischen den Zeitpunkten für das Ändern der Spannungen zum Erfassen des Verhältnisses A/F. Diese Zeitdauer T3 muß lediglich länger als die vorbestimmte Zeit T1 für das Erfassen des Verhältnisses A/F sein (siehe Fig. 9). Die vorbestimmte Zeit T3 wird vorzugsweise auf 2 bis 10 ms angesetzt.

Wenn sich in diesem Fall bei dem Schritt 112 eine negative Antwort ergibt, da die vorbestimmte Zeit T3 noch nicht abgelaufen ist, beendet der Mikroprozessor 20 diese Subroutine. Wenn der Schritt 112 eine positive Antwort ergibt, da die vorbestimmte Zeit T3 abgelaufen

ist, schreitet die Steuerung zu einem Schritt 113 weiter.

Bei dem Schritt 113 bestimmt der Mikroprozessor 20 gemäß dem während des vorangehenden Prozesses erfaßten Elementwiderstand R und dem Grenzstrom Ip die an die Lambda-Sonde 30 anzulegende Spannung Vp ( $V_p = R \cdot I_p + V_e$ ). Die Gleichung bei dem Schritt 113 entspricht der geraden Linie L1 in Fig. 3. Hierbei entspricht Ve dem Schnittpunkt der geraden Linie L1 mit der V-Achse und wird anfänglich auf einen Wert von ungefähr 0,4 V in der Nähe der Mitte des Grenzstrombereiches angesetzt.

Dann wird in einem Schritt 114 die Spannung Vp an die Lambda-Sonde 30 angelegt. Dabei wird der Vorspannungssteuerschaltung 40 als Steuerspannung die zweite Vorspannungssteuerspannung Vr2 für das Tiefpaßfilter 22b angelegt, welches mit dem Anschluß 42 der Lambda-Sonde 30 in Verbindung steht. Das Tiefpaßfilter 22b beseitigt dabei gemäß seiner Zeitkonstante die Hochfrequenzkomponenten der tatsächlich an die Lambda-Sonde 30 angelegten Spannung. Hierbei muß die erste Vorspannungssteuerspannung Vr1 für das Tiefpaßfilter 22a lediglich auf eine vorbestimmte Spannung festgelegt werden.

Nachstehend wird das Bestimmen der Zeitkonstante des Tiefpaßfilters 22b beschrieben. Diese Zeitkonstante wird vorzugsweise auf einen möglichst großen Wert angesetzt, um die Genauigkeit des Erfassens des Verhältnisses A/F zu verbessern. Falls jedoch die Zeitkonstante zu groß ist, entsteht ein anderes Problem: Wenn die Zeitkonstante des Tiefpaßfilters 22b größer als ein bestimmter Wert ist, kann die an die Lambda-Sonde 30 anzulegende Spannung nicht einer plötzlichen Änderung des Grenzstromwertes Ip folgen. Dadurch weicht dann die an die Lambda-Sonde 30 anzulegende Spannung Vp stark von der geraden Linie L1 nach Fig. 3 ab. Wenn diese Zeitkonstante weiter vergrößert wird, tritt die angelegte Spannung Vp aus dem Grenzstrombereich heraus und daher kann der Grenzstrom Ip bzw. das Verhältnis A/F nicht genau erfaßt werden. Somit wird unter Berücksichtigung der Genauigkeit des Erfassens des Verhältnisses A/F und des Ansprechens auf Änderungen des Grenzstromes Ip die Zeitkonstante des Tiefpaßfilters 22b vorzugsweise derart eingestellt, daß gemäß Fig. 23 die Grenzfrequenz dieses Tiefpaßfilters 22b ungefähr 10 Hz ist.

Die Fig. 28 ist ein Ablaufdiagramm, das der Subroutine zur Elementwiderstandmessung gemäß Fig. 16 für das zweite Ausführungsbeispiel entspricht. Die Funktion der in Fig. 28 dargestellten Subroutine ist zwar grundlegend die gleiche wie diejenige der Subroutine nach Fig. 16, jedoch ist anzumerken, daß bei Schritten 132 und 133 diejenige Steuerspannung geändert wird, die die erste Vorspannungssteuerspannung Vr1 ist. In diesem Fall werden aus der tatsächlich an die Lambda-Sonde 30 angelegten Spannung die Hochfrequenzkomponenten durch das Tiefpaßfilter 22a ausgeschieden. Die Zeitkonstante des Tiefpaßfilters 22a ist im wesentlichen die gleiche wie diejenige bei dem ersten Ausführungsbeispiel, aber kleiner als die Zeitkonstante des Tiefpaßfilters 22b.

Der vorstehend beschriebene Betriebsvorgang wird unter Bezugnahme auf die graphische Darstellung in Fig. 29 beschrieben. Die obere Kurve, in Fig. 29 stellt die Differenz ( $V_{r1} - V_{r2}$ ) zwischen den von dem Mikroprozessor 20 erzeugten beiden Spannungen dar, die mittlere Kurve stellt die tatsächlich an die Lambda-Sonde 30 angelegte Spannung dar und die untere Kurve stellt den Sensorstrom dar. Die mit einem Vollkreis mar-



kierten Punkte an der Sensorstromkurve entsprechen dem bei dem Schritt 111 nach Fig. 27 erfaßten Grenzstrom  $I_p$ . Die mit einem leeren Kreis markierten Punkte an der Sensorspannungskurve und der Sensorstromkurve entsprechen den bei dem Schritt 134 nach Fig. 28 erfaßten Werten  $\Delta V$  und  $\Delta I$ . Gemäß der vorangehenden Beschreibung wird der Grenzstrom  $I_p$  in vorbestimmten Zeitabständen  $T_1$  erfaßt, während der Elementwiderstand  $R (= \Delta V / \Delta I)$  in vorbestimmten Zeitabständen  $T_2$  gemessen wird. Ferner wird der Sensorspannungssteuerwert, nämlich die zweite Vorspannungssteuerspannung  $V_{r2}$  für das Erfassen des Verhältnisses  $A/F$  in vorbestimmten Zeitabständen  $T_3$  geändert.

Da ferner gemäß der Abgasmessung in Fig. 29 das Luft/Brennstoff-Verhältnis  $A/F$  zu dem Magergemischverhältnis hin verändert wird, steigt der Sensorstrom bzw. Grenzstrom  $I_p$  an und demgemäß wird auch die Steuerspannung ( $V_{r1} - V_{r2}$ ) größer.

In diesem Fall muß die Zeitkonstante des für das Unterdrücken der Hochfrequenzkomponenten der Steuerspannung eingesetzten Tiefpaßfilters in Abhängigkeit davon geändert werden, ob das Verhältnis  $A/F$  oder der Elementwiderstand erfaßt werden soll. Daher ist in diesen beiden Fällen das Ansprechen der Sensorspannung auf die Steuerspannung unterschiedlich. Auf diese Weise können der Grenzstrom  $I_p$  und die Werte  $\Delta V$  und  $\Delta I$  genau erfaßt werden.

In der Luft/Brennstoff-Verhältnis-Pegeleinrichtung wird für das Erfassen des Verhältnisses  $A/F$  das an den Anschluß 42 der Lambda-Sonde 30 anzulegende zweite Vorspannungssteuersignal  $V_{r2}$  und dann für das Messen des Elementwiderstandes das an den Anschluß 41 anzulegende erste Vorspannungssteuersignal  $V_{r1}$  erzeugt. Die Luft/Brennstoff-Verhältnis-Regleinrichtung ist jedoch nicht auf diese Ausführung beschränkt. Das heißt, es können andere Gestaltungen angewandt werden, sofern die Luft/Brennstoff-Regleinrichtung eine Spannung liefert, die sich bei dem Erfassen des Verhältnisses  $A/F$  mit einer Zeitkonstante ändert, welche größer ist als die Zeitkonstante bei dem Messen des Elementwiderstandes.

Auf gleiche Weise wie bei den vorangehend beschriebenen Ausführungsbeispielen ist bei dem vierten Ausführungsbeispiel der Erfindung das genaue Messen des Elementwiderstandes  $R$  ermöglicht. Selbstverständlich wird mit diesem Ausführungsbeispiel die Aufgabe der Erfindung gelöst. Außerdem ergeben sich die folgenden Vorteile:

- (a) Bei diesem Ausführungsbeispiel wird die Zeitkonstante für das Ändern der an die Lambda-Sonde 30 anzulegenden Spannung in Abhängigkeit davon eingestellt, ob der Elementwiderstand oder das Verhältnis  $A/F$  erfaßt werden soll. Hierbei wird im Vergleich zu der Zeitkonstante bei dem Erfassen des Elementwiderstandes die Zeitkonstante der Spannungsänderung bei dem Erfassen des Verhältnisses  $A/F$  auf einen größeren Wert angesetzt. Infolge dessen können selbst dann, wenn das Verhältnis  $A/F$  in einer Periode erfaßt wird, die kürzer ist als die Periode für das Schalten der zum Erfassen des Verhältnisses  $A/F$  angewandten angelegten Spannung  $V_p$  (z. B.  $T_1 \leq T_3$  gemäß Fig. 29), Fehler hinsichtlich des Grenzstromes  $I_p$  der Lambda-Sonde 30 ausgeschaltet werden und es kann damit eine Verschlechterung der Genauigkeit der Erfassung des Verhältnisses  $A/F$  verhindert werden.
- (b) Ferner sind mit den beiden Anschlüssen 41 und

42, die mit der Trockenelektrolytschicht 34 der Lambda-Sonde 30 in Verbindung stehen, zwei Tiefpaßfilter 22a und 22b verbunden, die jeweils eine eigene Zeitkonstante haben. Für das Erfassen des Elementwiderstandes und des Verhältnisses  $A/F$  werden die beiden Tiefpaßfilter 22a und 22b selektiv eingesetzt. In diesem Fall tritt im Vergleich zu dem Fall, daß ein Schalter vorgesehen ist, welcher zum Ändern der Zeitkonstante ein- und ausgeschaltet wird, kein durch den Widerstand des Schalters verursachter Meßfehler oder kein durch den Schaltvorgang verursachtes Störsignal auf. Infolge dessen kann eine Verringerung der Meßgenauigkeit verhindert werden.

Unter Bezugnahme auf Fig. 30A bis 40 wird ein fünftes Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben.

Zuerst wird kurz unter Bezugnahme auf Fig. 30A bis 31C das der Funktion bei diesem Ausführungsbeispiel zugrundeliegende Prinzip beschrieben. Wenn bei dem Meßverfahren gemäß den vorangehend beschriebenen Ausführungsbeispielen die durch das Ändern der angelegten Spannung  $V_p$  hervorgerufene Stromänderung  $\Delta I$  erfaßt wird, kann in der Nähe eines maximalen oder minimalen Wertes des Dynamikbereiches der Betrag der Stromänderung  $\Delta I$  nicht gemessen werden. Dies führt folglich zu einer fehlerhaften Messung des Elementwiderstandes  $P$ . Wenn gemäß der Darstellung in Fig. 30A das Verhältnis  $A/F$  in der Nähe eines minimalen Wertes des Dynamikbereiches liegt und eine Spannungsänderung  $\Delta V$  derart hervorgerufen wird, daß sie über den Minimalwert des Dynamikbereiches hinausgeht, fällt gemäß Fig. 30C die Stromänderung  $\Delta I$  aus dem Bereich und es kann daher der Elementwiderstand  $R$  nicht gemessen werden. Dieses Problem kann in einem gewissen Ausmaß durch das Einstellen der Richtung der Spannungsänderung gemäß dem Verhältnis  $A/F$  oder gemäß dem Sensorstrom gelöst werden, wobei dieses fünfte Ausführungsbeispiel eine alternative Lösung für dieses Problem ergibt.

Zur Lösung des vorstehend beschriebenen Problems wird bei diesem Ausführungsbeispiel als Verfahren zum Erfassen von  $\Delta I$  in der Nähe des minimalen oder des maximalen Wertes des Dynamikbereiches die Spannungszufuhr zu der Lambda-Sonde 30 vorübergehend unterbrochen und dann der Elementwiderstand  $R$  aufgrund der elektromotorischen Sensorspannung und der Stromänderung erfaßt, die bei der momentanen Unterbrechung der Spannungszufuhr entstehen. Auf diese Weise kann der Elementwiderstand  $R$  durch Kombinieren dieses Meßverfahrens mit dem Verfahren zum Messen des Elementwiderstandes aufgrund der Spannungsänderung über dem ganzen Bereich hinweg genau erfaßt werden.

Nachstehend wird das Verfahren zum Messen des Elementwiderstandes  $R$  unter Nutzung der Spannung der Lambda-Sonde 30 beschrieben. Fig. 31A bis 31C sind graphische Darstellungen, die das diesem Meßverfahren zugrundeliegende Prinzip veranschaulichen. Bei dem Erfassen des Luft/Brennstoff-Verhältnisses wird an die Lambda-Sonde 30 die Spannung  $V_p$  angelegt und der Sensorstrom bzw. Grenzstrom bei dem Anlegen der Spannung  $V_p$  als  $I_p$  erfaßt. Dann wird bei dem Messen des Elementwiderstandes für einen Moment derjenige Kreis unterbrochen, durch den der Sensorstrom  $I_p$  fließt, nämlich der Stromkreis für das Zuführen der Spannung zu der Lambda-Sonde 30. Damit wird der Sensorstrom  $I_p$  sofort zu "Null" und die Lambda-Sonde



30 erzeugt eine Spannung  $V_e$ , welche einer Differenz des Sauerstoffteildruckes zwischen der Innenseite und der Außenseite der Trockenelektrolytschicht 34 entspricht. Ausgehend von einem Zusammenhang des Spannungsänderungsbetrages  $\Delta V (= V_e - V_p)$  mit dem Stromänderungsbetrag  $\Delta I$  kann der Elementwiderstand  $R_e$  erfaßt werden, wobei "Re" zur Unterscheidung dieses Widerstandes von dem aufgrund der Spannungsänderung gemessenen Elementwiderstand  $R$  verwendet wird. Der auf diese Weise erfaßte Elementwiderstand  $R_e$  ist im wesentlichen gleich dem gemäß der Spannungsänderung erfaßten Elementwiderstand  $R$  ( $R_e \approx R$ ).

Der Grund für diese Übereinstimmung des bei dem Unterbrechen des Stromkreises erfaßten Elementwiderstandes  $R_e$  mit dem bei der Spannungsänderung erfaßten Elementwiderstand  $R$  wird unter Bezugnahme auf Fig. 5 erläutert, in welcher die Äquivalenzschaltung der Lambda-Sonde 30 dargestellt ist. Da diese Schaltung bei dem Erfassen des Verhältnisses  $A/F$  in ihrem Normalzustand ist, fließt Strom über  $R_g$ ,  $R_i$  und  $R_f$ . Wenn unter diesen Bedingungen der Stromkreis kurzzeitig ausgeschaltet wird, nämlich der Stromfluß vorübergehend unterbrochen wird, entfällt sofort die Potentialdifferenz an dem Widerstand  $R_g$ , da dieser ein Gleichstromwiderstand ist. Hinsichtlich des Widerstandes  $R_i$  fließt gemäß der vorangehenden Beschreibung unter Bezugnahme auf die Fig. 6 und 7 die in der Kapazität  $C_i$  gesammelte elektrische Ladung wegen der kleinen Zeitkonstante augenblicklich über den Widerstand  $R_i$  ab, so daß die Potentialdifferenz an dem Widerstand  $R_i$  sofort verschwindet. Daher wird das Verhältnis zwischen der durch das Unterbrechen des Stromkreises hervorgerufenen Spannungsänderung und der hervorgerufenen Stromänderung zu der Summe aus  $R_g$  und  $R_i$  und somit nimmt der bei dem Unterbrechen des Stromkreises erfaßte Elementwiderstand  $R_e$  den gleichen Wert wie der Elementwiderstand  $R$  an, der gemäß der Spannungsänderung erfaßt wird.

Tatsächlich hat jedoch die Lambda-Sonde 30 nicht genau die gleiche Schaltung wie die in Fig. 5 dargestellte. Daher stimmt gemäß Fig. 32 der gemäß der Spannungsänderung erfaßte Elementwiderstand  $R$  nicht völlig mit dem bei dem momentanen Abschalten der Lambda-Sonde 30 erfaßten Elementwiderstand  $R_e$  überein und es können gewisse Fehler auftreten. Infolge dessen könnte bei dem Umschalten zwischen diesen beiden Meßverfahren eine Diskontinuität hinsichtlich der Meßwerte des Elementwiderstandes entstehen. Folglich kann in diesem Diskontinuitätsfall bei der Heizelementsteuerung beispielsweise für das Konstanthalten des Elementwiderstandes die Elementtemperatur nicht stabilisiert werden.

Daher werden bei diesem Ausführungsbeispiel zum Beseitigen dieser Diskontinuität hinsichtlich der gemessenen Elementwiderstände diese beiden Elementwiderstand-Meßverfahren, die auf der Spannungsänderung bzw. auf dem zeitweiligen Unterbrechen des Stromkreises beruhen, innerhalb eines Bereiches mit einer vorbestimmten Breite angewandt. Dann wird aus einer Differenz zwischen den nach den beiden Meßverfahren erfaßten Elementwiderständen ein Korrekturkoeffizient  $k_a$  berechnet. Mit diesem Korrekturkoeffizienten wird der aufgrund des zeitweiligen Unterbrechens des Stromkreises berechnete Elementwiderstand  $R_e$  korrigiert.

Falls andererseits der Grenzstrom  $I_p$  außerhalb des Dynamikbereiches liegt, kann zum Erfassen des genau-

en Wertes des Elementwiderstandes keines der vorangehend beschriebenen Meßverfahren angewandt werden. Auch in diesem Fall kann jedoch das auf dem zeitweiligen Unterbrechen des Stromkreises basierende Meßverfahren zum Erfassen des Elementwiderstandes herangezogen werden, obgleich es gewisse Fehler hervorrufen könnte. In Fig. 33A und 33B sind Spannung/Strom-Kennlinien der Lambda-Sonde 30 bei einem Grenzstrom  $I_p$  außerhalb des Dynamikbereiches dargestellt. In Fig. 33A ist der aufgrund der Spannungsänderung erfaßte Elementwiderstand  $R$  dargestellt, während in Fig. 33B der aufgrund des momentanen Unterbrechens des Stromkreises erfaßte Elementwiderstand  $R_e$  dargestellt ist. Die wahren Werte der Elementwiderstände  $R$  und  $R_e$  sind in den jeweiligen Figuren durch gestrichelte Linien dargestellt.

Gemäß Fig. 33A und 33B kann mit dem Elementwiderstand-Meßverfahren nach Fig. 33A der Stromänderungsbetrag  $\Delta I$  nicht gemessen werden ( $\Delta I = 0$ ). Daher kann selbst bei einer Änderung des Elementwiderstandes diese Änderung nicht erfaßt werden, Dagegen kann mit dem Elementwiderstand-Meßverfahren nach Fig. 33B stets ein brauchbarer Wert von  $\Delta I$  berechnet werden, da der gemessene Strom immer zu 0 mA wird, und auf diese Weise können immer Änderungen des Elementwiderstandes erfaßt werden. Auch wenn beispielsweise die Steuerung des Heizelementes der Lambda-Sonde 30 zum Konstanthalten des Elementwiderstandes ausgeführt wird, kann selbst dann, wenn der Grenzstrom  $I_p$  außerhalb des Dynamikbereiches liegt, durch die Anwendung des auf dem momentanen Unterbrechen des Stromkreises basierenden Elementwiderstand-Meßverfahrens das Auftreten einer kritischsten Situation verhindert werden, bei der das Heizen nicht geregelt werden kann.

Nachstehend wird die konkrete Gestaltung dieses Ausführungsbeispiels beschrieben, welches auf dem vorangehend beschriebenen Funktionsprinzip beruht. Die Fig. 34 zeigt den Gesamtaufbau der Luft/Brennstoff-Verhältnis-Meßeinrichtung gemäß diesem Ausführungsbeispiel. Ein Unterschied hinsichtlich der Gestaltung der Luft/Brennstoff-Verhältnis-Meßeinrichtung gemäß diesem Ausführungsbeispiel gegenüber der Gestaltung bei dem in Fig. 1 dargestellten ersten Ausführungsbeispiel besteht darin, daß der Mikroprozessor 20 der Vorspannungssteuerschaltung 40 Signale für das Ein- und Ausschalten eines Schalters für das zeitweilige Unterbrechen des Sensorstromkreises zu führt.

Die Fig. 35 zeigt eine Gestaltung der Vorspannungssteuerschaltung 40. Ein Unterschied hinsichtlich der Gestaltung der Vorspannungssteuerschaltung 40 gemäß diesem Ausführungsbeispiel gegenüber der in Fig. 8 dargestellten Vorspannungssteuerschaltung gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel besteht darin, daß zwischen dem Widerstand 45b und den Basen der Transistoren 45c und 45d der ersten Spannungszuführschaltung 45 ein Analogschalter 51 angebracht ist. Dieser Analogschalter 51 wird durch Ein-/Aus-Signale aus dem Mikroprozessor 20 geschaltet. Wenn der Analogschalter 51 ausgeschaltet ist, sind die beiden Transistoren 54c und 54d abgeschaltet. Folglich haben die Emitteranschlüsse der beiden Transistoren 45c und 45d hohe Impedanz und daher wird der mit dem Sensoranschluß 42 in Verbindung stehende Stromkreis sofort unterbrochen.

Nachstehend wird unter Bezugnahme auf die Ablaufdiagramme in Fig. 36, 37 und 38 die Funktion des Mikroprozessors 20 bei diesem Ausführungsbeispiel beschrie-

ben. In Fig. 36 ist eine Subroutine bei dem Schritt 130 der Hauptroutine nach Fig. 9 dargestellt und in Fig. 37 und 38 sind Subroutinen bei Schritten 140 und 150 nach Fig. 36 dargestellt.

Wenn die Routine nach Fig. 36 begonnen wird, bestimmt der Mikroprozessor 20 bei einem Schritt 231 aufgrund des vorangehend gemessenen Grenzstromes  $I_p$ , welches Elementwiderstand-Meßverfahren angewandt werden soll. Für den Mikroprozessor 20 besteht die Wahl zwischen drei Alternativen:

Anwenden allein des auf der Spannungsänderung beruhenden Elementwiderstand-Meßverfahrens, Anwenden allein des auf dem momentanen Abschalten des Stromkreises beruhenden Elementwiderstand-Meßverfahrens und Anwenden der beiden vorangehend beschriebenen Elementwiderstand-Meßverfahren.

Bei diesem Ausführungsbeispiel werden gemäß der Darstellung in dem Spannung/Strom-Kennliniendiagramm in Fig. 39 in der Nähe des Minimalwertes des Dynamikbereiches zwei vorbestimmte Werte  $I_{p0}$  und  $I_{p1}$  mit  $I_{p0} < I_{p1}$  angesetzt.  $I_{p0}$  und  $I_{p1}$  bestimmen einen Bezugsstrombereich. Bei  $I_p > I_{p0}$  wird der Elementwiderstand aufgrund der Spannungsänderung erfaßt, während bei  $I_p < I_{p1}$  der Elementwiderstand aufgrund der Stromkreisunterbrechung erfaßt wird. Wenn ferner  $I_p$  einen Wert  $I_{p0} \leq I_p \leq I_{p1}$  hat, nämlich  $I_p$  innerhalb des Bezugsstrombereiches liegt, wird der Elementwiderstand sowohl aufgrund der Spannungsänderung als auch aufgrund der momentanen Stromkreisunterbrechung erfaßt.

Falls daher bei dem Schritt 231 nach Fig. 36  $I_p > I_{p1}$  ermittelt wird, schreitet das Programm des Mikroprozessors 20 zu dem Schritt 140 weiter, bei dem der Elementwiderstand  $R$  aufgrund einer Änderung der angelegten Spannung erfaßt wird. Das heißt, bei dem Schritt 140 werden in Schritten 141 bis 143 nach Fig. 37 die gleichen Vorgänge wie bei den Schritten 132, 134 und 135 der in Fig. 10 dargestellten Routine bei dem ersten Ausführungsbeispiel ausgeführt, um den Elementwiderstand  $R = \Delta V / \Delta I$  zu messen.

Wenn bei dem Schritt 231  $I_p < I_{p0}$  ermittelt wird, schreitet das Programm des Mikroprozessors 20 zu dem Schritt 150 weiter, bei dem der Elementwiderstand  $R_e$  gemäß dem hier eingeführten Verfahren, nämlich aufgrund der momentanen Stromkreisunterbrechung erfaßt wird. In Fig. 38 ist eine Routine für das auf der Stromkreisunterbrechung basierende Messen des Elementwiderstandes  $R_e$  dargestellt. Das heißt, gemäß Fig. 38 wird von dem Mikroprozessor 20 der in Fig. 35 dargestellte Schalter 51 ausgeschaltet, um die erste Spannungszuführschaltung 45 abzuschalten. Darauf folgend erfaßt der Mikroprozessor 20 bei einem Schritt 152 eine durch die Stromkreisunterbrechung hervorgerufene Spannung  $E_o$  (Differenz zwischen  $V_a$  und  $V_c$  nach Fig. 35) an der Lambda-Sonde 30.

Danach wird von dem Mikroprozessor 20 bei einem Schritt 153 der Schalter 51 eingeschaltet und dann in einem Schritt 154 aus der zuvor gemessenen elektromotorischen Spannung  $E_o$ , dem zuvor gemessenen Grenzstrom  $I_p$  und der vor dem zeitweiligen Abschalten der Spannung angelegten Spannung  $V_p$  der Elementwiderstand  $R_e$  berechnet ( $R_e = (V_p - E_o) / I_p$ ).

Das Programm des Mikroprozessors 20 schreitet dann zu einem Schritt 232 nach Fig. 36 weiter, bei dem zum Berechnen des Elementwiderstandes  $R$  der bei dem Schritt 150 ermittelte Elementwiderstand  $R_e$  mit einem Korrekturkoeffizienten  $k_a$  korrigiert wird ( $R = k_a \cdot R_e$ ). Dieser Korrekturkoeffizient  $k_a$  wird zum Be-

seitigen der Diskontinuität zwischen dem aufgrund der Spannungsänderung erfaßten Elementwiderstand  $R$  und dem aufgrund der zeitweiligen Stromkreisunterbrechung erfaßten Elementwiderstand  $R_e$  herangezogen und bei einem Grenzstrom  $I_p$  in dem Bereich von  $I_{p0}$  bis  $I_{p1}$  berechnet.

Nachstehend wird der Prozeß beschrieben, der auszuführen ist, wenn der Grenzstrom  $I_p$  in dem Bereich von  $I_{p0}$  bis  $I_{p1}$  liegt. Das heißt, wenn bei dem Schritt 231  $I_{p0} \leq I_p \leq I_{p1}$  ermittelt wird, führt der Mikroprozessor 20 den Schritt 140 (für den Prozeß nach Fig. 37) aus, um den Elementwiderstand  $R$  gemäß der Änderung der angelegten Spannung zu erfassen, und darauffolgend den Schritt 150 (für den Prozeß nach Fig. 38), um den Elementwiderstand  $R_e$  aufgrund der Stromkreisunterbrechung zu erfassen. Entsprechend dem Verhältnis zwischen den Elementwiderstandswerten  $R$  und  $R_e$  bestimmt der Mikroprozessor 20 den Korrekturkoeffizienten  $k_a$  ( $k_a = R / R_e$ ). Dieser Korrekturkoeffizient  $k_a$  wird bei dem vorangehend genannten Schritt 232 verwendet.

Die vorbestimmten Werte  $I_{p0}$  und  $I_{p1}$  bei der Routine nach Fig. 36 können auf beliebige Weise auf Werte zwischen einem Minimalwert des Dynamikbereiches und 0 mA angesetzt werden. Es muß beachtet werden, daß die Meßgenauigkeit des Elementwiderstand-Meßverfahrens aufgrund der Spannungsänderung in der Nähe des Minimalwertes des Dynamikbereiches verschlechtert ist. Da andererseits die Meßgenauigkeit des Elementwiderstand-Meßverfahrens in der Nähe von 0 mA verschlechtert ist, wird vorzugsweise ein Spielraum von nicht weniger als 1 bis 2 mA zwischen 0 mA und  $I_{p1}$  vorgesehen.

Bei dem fünften Ausführungsbeispiel der Erfindung ist es möglich, wie bei den jeweils vorangehend beschriebenen Ausführungsbeispielen den Elementwiderstand  $R$  mit einem hohen Genauigkeitsgrad zu messen. Mit diesem Ausführungsbeispiel ist nicht nur das Lösen der Aufgabe der Erfindung ermöglicht, sondern es bietet auch die folgenden zusätzlichen Vorteile:

- (a) Bei diesem Ausführungsbeispiel werden das auf der Spannungsänderung beruhende Elementwiderstand-Meßverfahren und das auf der zeitweiligen Stromkreisunterbrechung beruhende Elementwiderstand-Meßverfahren selektiv entsprechend dem Grenzstrom  $I_p$  der Lambda-Sonde 30 angewandt. Im einzelnen wird in der Nähe des Minimalwertes des Dynamikbereiches, in der das Meßergebnis bei dem auf der Spannungsänderung beruhenden Elementwiderstand-Meßverfahren voraussichtlich fehlerhaft ist, das auf der Stromkreisunterbrechung beruhende Elementwiderstand-Meßverfahren angewandt. Andererseits werden in der Nähe von 0 mA, in der bei dem auf der Stromkreisunterbrechung beruhenden Elementwiderstand-Meßverfahren Fehler wahrscheinlich sind, daß auf der Spannungsänderung beruhende Elementwiderstand-Meßverfahren angewandt. Infolge dessen kann der Elementwiderstand in einem jeglichen Strommeßbereich auf genaue Weise erfaßt werden.
- (b) Ferner werden für das Einschalten dieser beiden Elementwiderstand-Meßverfahren vorbestimmte Werte in der Nähe eines Minimalwertes (oder eines Maximalwertes) des Dynamikbereiches angesetzt. Auf diese Weise kann das auf der Spannungsänderung beruhende Elementwiderstand-Meßverfahren für einen breiteren Strommeßbereich angewandt

werden.

(c) Durch das Ansetzen der vorbestimmten Werte für das Bestimmen des Grenzstromes  $I_p$  der Lambda-Sonde 30 mit einem vorbestimmten Abstand ( $I_{p0}$  bis  $I_{p1}$ ) zwischen diesen werden beide Elementwiderstand-Meßverfahren ausgeführt, wenn der Grenzstrom  $I_p$  der Lambda-Sonde 30 innerhalb des vorbestimmten Abstandes zwischen den vorbestimmten Werten liegt. Aus dem Verhältnis zwischen den Ergebnissen bei den beiden Meßverfahren wird der Korrekturkoeffizient  $k_a$  ermittelt, mit dem der bei dem zeitweiligen Unterbrechen des Stromkreises erfaßte Elementwiderstand  $R$  korrigiert wird.

Daher können selbst dann, wenn Unterschiede zwischen den Kennlinien des nach dem auf der Spannungsänderung beruhenden Elementwiderstand-Meßverfahren erfaßten Elementwiderstandes  $R$  und den Kennlinien des nach dem auf der Stromkreisunterbrechung beruhenden Elementwiderstand-Meßverfahren erfaßten Elementwiderstandes  $R_e$  bestehen, die Abweichungen zwischen den Ergebnissen bei den beiden Meßverfahren beseitigt werden, um die Diskontinuität zu beseitigen. Infolge dessen kann auch bei dem Ausführen der Heizregelung aufgrund des Elementwiderstandes  $R$  eine gleichmäßige Regelung der Elementtemperatur herbeigeführt werden. Das vorstehend beschriebene Ausführungsbeispiel ist auch für das Korrigieren von Fehlern bei Abweichungen zwischen einzusetzenden verschiedenen Sonden und bei einer Verschlechterung der Güten der Sonden nutzvoll.

Dabei kann dieses Ausführungsbeispiel auch auf folgende Weise verwirklicht werden:

Bei der in Fig. 36 dargestellten Routine werden die Schritte 140 und 150 dann ausgeführt, wenn der Grenzstrom  $I_p$  in dem Bereich von  $I_{p0}$  bis  $I_{p1}$  liegt, und aus den hierbei erhaltenen Werten  $R$  und  $R_e$  wird der Korrekturkoeffizient  $k_a$  berechnet. Es ist jedoch auch möglich, die  $R/R_e$ -Kennlinie der Lambda-Sonde 30 zu berechnen und dann den Korrekturkoeffizienten  $k_a$  aus einer solchen Kennlinie nach einer vorbestimmten Gleichung oder Tabelle zu ermitteln. Es ist ferner möglich, einen der Elementwiderstände gemäß den Kennlinien für beide Widerstände zu korrigieren. Im einzelnen kann dann, wenn von vorneherein bekannt ist, daß  $R$  und  $R_e$  einen Zusammenhang wie den in Fig. 32 dargestellten haben, aus  $R_e$ , welcher der auf der Stromkreisunterbrechung basierende Elementwiderstand ist, den Widerstand  $R$  ermittelt werden, welcher ein auf einer Änderung der angelegten Spannung basierender Elementwiderstand ist.

Während bei diesem Ausführungsbeispiel der Elementwiderstand  $R$  aus der Stromänderung  $\Delta I$  bei dem Schalten der angelegten Spannung  $V_p$  von negativ auf positiv berechnet wird und dann die durch die Änderung der angelegten Spannung  $V_p$  verursachte Stromänderung  $\Delta I$  berechnet wird, ist es natürlich möglich, den Elementwiderstand  $R$  durch Ändern der angelegten Spannung  $V_p$  von positiv nach negativ zu ermitteln. In diesem Fall kann bei dem Schritt 231 das Bestimmen des Stromes  $I_p$  gemäß den Werten  $I_{p0}$  und  $I_{p1}$  derart vorgenommen werden, daß  $I_{p0}$  und  $I_{p1}$  auf Werte angesetzt werden, welche in bezug auf die horizontale V-Achse zu den Werten derselben gemäß Fig. 39 symmetrisch sind.

Wenn der Grenzstrom  $I_p$  aus den Dynamikbereich heraustritt, ist die Meßgenauigkeit bei dem auf der

Spannungsänderung beruhenden Elementwiderstand-Meßverfahren schlechter als diejenig bei dem auf der Stromkreisunterbrechung beruhenden Elementwiderstand-Meßverfahren. Falls ferner der Grenzstrom  $I_p$  sehr stark zu dem Magergemischbereich hin abweicht, kann der Elementwiderstand nicht erfaßt werden. Dieses Problem kann dadurch gelöst werden, daß gemäß der Darstellung in Fig. 40 sowohl an der negativen Seite als auch an der positiven Seite  $I_{p0}$  und  $I_{p1}$ , die einen Bezugsstrombereich bestimmen, bzw.  $I_{p0}'$  und  $I_{p1}'$  angesetzt werden, die einen weiteren Bezugsstrombereich bestimmen. In diesem Fall wird gemäß der Darstellung in Fig. 40 bei einem Grenzstrom  $I_p$  nahe an 0 mA das auf der Spannungsänderung beruhende Elementwiderstand-Meßverfahren angewandt. Falls der Grenzstrom  $I_p$  nahe an dem maximalen Wert oder nahe an dem minimalen Wert des Dynamikbereiches liegt, wird das auf der Stromkreisunterbrechung beruhende Elementwiderstand-Meßverfahren angewandt.

Falls die Differenz zwischen dem gemäß der Spannungsänderung erfaßten Elementwiderstand  $R$  und dem gemäß der Stromkreisunterbrechung erfaßten Elementwiderstand  $R_e$  so gering ist, daß keine Korrekturen erforderlich sind, oder falls die Differenz zwischen  $R$  und  $R_e$  zum Vereinfachen der Verarbeitung außer acht gelassen werden soll, kann  $I_{p0}$  gleich  $I_{p1}$  gesetzt werden, so daß die vorangehend genannten Meßverfahren nicht gleichzeitig ausgeführt werden. In diesem Fall ist der gemäß dem Ablaufdiagramm in Fig. 36 verwendete Korrekturkoeffizient  $k_a$  nicht erforderlich.

Als nächstes wird unter Bezugnahme auf Fig. 41 bis 45B ein sechstes Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben. Während bei den vorangehend beschriebenen jeweiligen Ausführungsbeispielen die Luft/Brennstoff-Verhältnis-Meßeinrichtung mit einer becherförmigen Lambda-Sonde 30 aufgebaut ist, so daß das Luft/Brennstoff-Verhältnis aus den Grenzstrom ermittelt werden, der fließt wenn an diese Sonde 30 Spannung angelegt wird, ist bei diesem sechsten Ausführungsbeispiel die Luft/Brennstoff-Verhältnis-Meßeinrichtung mit einer integrierten Lambda-Sonde 60 anstelle der vorstehend genannten Lambda-Sonde 30 gestaltet. Nachstehend werden unter Bezugnahme auf die Zeichnung der Aufbau und die Merkmale der integrierten Lambda-Sonde 60 beschrieben.

Die Fig. 41 ist eine Schnittansicht, die den Aufbau der integrierten Lambda-Sonde 60 zeigt. Die integrierte Lambda-Sonde 60 enthält zwei Trockenelektrolytschichten 61 und 62 aus Zirkondioxyd, die allgemein als Pumpzelle (Trockenelektrolytschicht 61) bzw. Meßzelle (Trockenelektrolytschicht 62) bezeichnet werden. Ein unterhalb der Trockenelektrolytschicht 61 vorgesehener Diffusionsspalt 63 wirkt als Sauerstoffkonzentrationsmeßkammer. Andererseits wirkt ein unterhalb der Trockenelektrolytschicht 62 vorgesehener Luftkanal 64 als Atmosphärendruckkammer. In der Trockenelektrolytschicht 61 sind Nadelstichlöcher 65 ausgebildet, damit Abgas in den Diffusionsspalt 63 eindringen kann. Heizelemente 66 dienen zum Beheizen der Sonde 60.

An der oberen und unteren Fläche der Trockenelektrolytschicht 61, nämlich der Pumpzelle sind Platinelektroden 67 und 68 befestigt, während an der oberen und unteren Fläche der Trockenelektrolytschicht 62, nämlich der Meßzelle Platinelektroden 69 und 70 angebracht sind. Die Elektrode 67 ist mit einem Anschluß 71 verbunden, die Elektroden 68 und 69 sind mit einem Anschluß 72 verbunden und die Elektrode 70 ist mit einem Anschluß 73 verbunden.

Nachstehend wird das Funktionsprinzip dieser integrierten Lambda-Sonde 60 erläutert. Die Fig. 42 ist eine graphische Darstellung, welche die Kennlinie einer zwischen den Anschlüssen 72 und 73 erzeugten elektromotorischen Sensorspannung  $V_s$  zeigt. Durch eine Sauerstoffkonzentration  $P_v$  in dem Diffusionsspalt 63 und eine Sauerstoffkonzentration  $P_o$  in dem Luftkanal 64, die gleich der Sauerstoffkonzentration in der Außenluft ist, ist die elektromotorische Sensorspannung  $V_s$  nach folgender Gleichung bestimmt:

$$V_s = (RT \cdot \ln[P_o/P_v])/4F \quad (2)$$

In der Gleichung (2) sind  $R$  eine Gaskonstante,  $T$  die absolute Temperatur und  $F$  die Faraday-Konstante.

Die Sauerstoffkonzentration  $P_v$  in dem Diffusionsspalt 63 ist gewöhnlich gleich der Sauerstoffkonzentration  $P_A$  in dem Abgas. Daher wird dann, wenn das Luft/Brennstoff-Verhältnis fetter wird und die Sauerstoffkonzentration  $P_A$  in dem Abgas geringer wird, auch die Sauerstoffkonzentration  $P_v$  in dem Diffusionsspalt 63 geringer und somit die elektromotorische Sensorspannung  $V_s$  größer. Falls dagegen das Luft/Brennstoffverhältnis magerer wird, wird die Sauerstoffkonzentration  $P_v$  in den Diffusionsspalt 63 größer und die elektromotorische Sensorspannung  $V_s$  wird an dem Anschluß 73 gemessen.

Ferner treten durch das Anlegen einer Spannung  $V_p$  an den Anschluß 71 für den Durchfluß eines Pumpstromes  $I_p$  Sauerstoffionen durch die Trockenelektrolytschicht 61 hindurch. Auf diese Weise kann die Sauerstoffkonzentration  $P_v$  in dem Diffusionsspalt 63 nach Belieben gesteuert werden. Wenn nach dem vorangehend beschriebenen Prinzip die elektromotorische Sensorspannung  $V_s$  gemessen und die an den Anschluß 71 angelegte Spannung  $V_p$  derart gesteuert wird, daß  $V_s$  konstant wird, kann die Sauerstoffkonzentration in dem Abgas bzw. das Luft/Brennstoffverhältnis  $A/F$  gemäß dem Pumpstrom  $I_p$  geregelt werden.

Das heißt, zum Einregeln einer konstanten elektromotorischen Sensorspannung  $V_s$  muß die Sauerstoffkonzentration  $P_v$  in dem Diffusionsspalt 63 ständig auf eine konstante Sauerstoffkonzentration  $P_{vo}$  geregelt werden. Zu diesem Zweck muß eine Sauerstoffmenge zugeführt werden, die zu einer Differenz zwischen der Sauerstoffkonzentration  $P_A$  in dem Abgas und der Sauerstoffkonzentration  $P_{vo}$  äquivalent ist. In diesem Fall wird die der Differenz zwischen  $P_A$  und  $P_{vo}$  entsprechende Menge an zugeführtem Sauerstoff durch die Stärke des Pumpstromes  $I_p$  bestimmt. Somit kann die Sauerstoffkonzentration in dem Abgas bzw. das Verhältnis  $A/F$  aus dem Pumpstrom  $I_p$  ermittelt werden. Wenn gemäß der Darstellung in Fig. 42 die elektromotorische Sensorspannung  $V_s$  auf einen vorbestimmten Wert ( $V_s = 0,45$  V) eingeregelt wird, wenn das Verhältnis  $A/F$  gleich 14,7 ist, nämlich gleich dem stöchiometrischen Wert  $A/F$ , der sich geringfügig in Abhängigkeit von der Art der Maschine ändert, ergibt sich zwischen dem Pumpstrom  $I_p$  und dem Verhältnis  $A/F$  der in Fig. 43 dargestellte Zusammenhang, wobei  $I_p$  gleich Null ist, wenn das Verhältnis  $A/F$  gleich 14,7 ist. Das Kennliniendiagramm in Fig. 43 zeigt, daß ein positiver Pumpstrom  $I_p$  fließt, wenn das Luft/Brennstoff-Gemisch mager ist. Andererseits fließt bei einem fetten Luft/Brennstoff-Gemisch ein negativer Pumpstrom  $I_p$ .

Die Fig. 44 ist ein Schaltbild, welches die Gestaltung der Vorspannungssteuerschaltung 40 gemäß diesem

Ausführungsbeispiel zeigt. Nachstehend werden lediglich die Unterschiede dieses Ausführungsbeispiels gegenüber denjenigen Ausführungsbeispielen beschrieben, bei denen die becherförmige Sonde verwendet wird.

Die integrierte Lambda-Sonde 60 hat zusätzlich zu den Anschlüssen 71 und 72, welche den Anschlüssen 41 und 42 nach Fig. 8 entsprechen und zum Anlegen von Spannung an das Sensorelement dienen, den weiteren Anschluß 73 für das Messen der elektromotorischen Spannung. An dem Anschluß 73 wird die elektromotorische Spannung  $B_s$  erfaßt und von einem Rechenverstärker 75 wird die elektromotorische Sensorspannung  $V_s$  mit einer Bezugsspannung  $V_{so}$  verglichen und ein verstärktes Vergleichsergebnis abgegeben. Weiterhin wird das verstärkte Signal der zweiten Spannungszuführschaltung 47 zugeführt, um eine Differenz zwischen diesem verstärkten Signal und einem von dem Tiefpaßfilter 22 abgegebenen Signal zu erhalten. Das heißt, im Vergleich zu dem ersten Ausführungsbeispiel bei dem die becherförmige Sonde verwendet wird, wirkt die zweite Spannungszuführschaltung 47 als Differenzverstärker statt als Spannungsfolgerschaltung.

Die Bezugsspannung  $V_{so}$  an dem Rechenverstärker 75 wird bei dieser Schaltung folgendermaßen eingestellt: Bei diesem Ausführungsbeispiel wird die Bezugsspannung  $V_{so}$  derart eingestellt, daß  $I_p$  gleich Null ist, wenn das Verhältnis  $A/F$  gleich 14,7 ist. Das heißt, bei dem Luft/Brennstoff-Verhältnis 14,7 muß die Spannung an dem Anschluß 71 gleich der Spannung an dem Anschluß 72 sein. Nimmt man an, daß die Ausgangsspannung des Tiefpaßfilters 22 und die für das Erfassen des Verhältnisses  $A/F$  anzuwendende Spannung  $V_p$  ist, so wird die Bezugsspannung  $V_{so}$  derart eingestellt, daß eine Ausgangsspannung  $V_x$  des Rechenverstärkers 75 gleich  $V_p - V_a$  ist.

Wenn bei der Schaltung mit diesem Aufbau das Abgas einem fetten Gemisch entspricht, wird die elektromotorische Sensorspannung  $V_s$  an dem Anschluß 73 größer und es wird damit die Ausgangsspannung des Rechenverstärkers 75 höher. Zugleich wird die Ausgangsspannung  $V_c$  der zweiten Spannungszuführschaltung 47 und somit die an den Anschluß 71 angelegte Spannung niedriger. Infolge dessen fließt der Pumpstrom  $I_p$  in einer Richtung, die zu der in Fig. 41 dargestellten entgegengesetzt ist, das heißt, es fließt ein Pumpstrom in negativer Richtung. Auf diese Weise wird Sauerstoff in den Diffusionsspalt 63 eingezogen. Falls dagegen das Abgas zu einem Magergemisch-Abgas wird, fließt ein Pumpstrom  $I_p$  in der positiven Richtung und es wird Sauerstoff aus dem Diffusionsspalt 63 herausgepumpt.

Bei der Luft/Brennstoff-Verhältnis-Meßeinrichtung gemäß diesem Ausführungsbeispiel mit dem vorstehend beschriebenen Aufbau wird der Elementwiderstand der integrierten Lambda-Sonde 60 mit der gleichen Prozedur wie bei dem ersten Ausführungsbeispiel gemessen. Die Grundzüge dieser Prozedur werden unter Bezugnahme auf das in Fig. 45A und 45B dargestellte Zeitdiagramm beschrieben. In Fig. 45A ist eine an die Lambda-Sonde 60 anzulegende Spannung, nämlich die Ausgangsspannung des Tiefpaßfilters 22 dargestellt, während in Fig. 45B der Sensorstrom, d. h., der Pumpstrom  $I_p$  dargestellt ist, welcher infolge des Anlegens dieser Spannung fließt.

Bei dem Messen des Elementwiderstandes wird die Anlegenspannung an die integrierte Lambda-Sonde 60 als ein Signal angelegt, welches infolge des Durchlau-



fens durch das Tiefpaßfilter 22 eine vorbestimmte Zeitkonstante hat. Dabei wird die angelegte Spannung in bezug auf eine Spannung für das Erfassen des Verhältnisses A/F sowohl zur positiven als auch zur negativen Seite hin geändert. Es wird dann, wenn das Verhältnis A/F einem mageren Gemisch entspricht der Elementwiderstand R aus einer negativen Spannungsänderung  $\Delta V$  und einer negativen Stromänderung  $\Delta I$  ermittelt ( $R = \Delta V / \Delta I$ ). Der Grund für das Anwenden des gemessenen negativen Wertes ist der gleiche wie derjenige bei dem ersten Ausführungsbeispiel, nämlich daß es diese Einstellung ermöglicht, den Dynamikbereich der Lambda-Sonde 60 auf ein Minimum einzustellen. Der Prozeß für das Erfassen des Elementwiderstandes R wird in jeweils vorbestimmten Zyklen T4 ausgeführt, wobei T4 ein fester Wert oder ein Wert sein kann, welcher sich in Abhängigkeit von dem Betriebszustand der Maschine ändert. Obgleich dies nicht graphisch dargestellt ist, wird bei dem Verhältnis A/F für ein fettes Gemisch der Elementwiderstand R aus der positiven Spannungsänderung  $\Delta V$  und der positiven Stromänderung  $\Delta I$  ermittelt.

Mit dem sechsten Ausführungsbeispiel können die gleichen Wirkungen wie bei den vorangehend beschriebenen Ausführungsbeispielen erzielt werden und es kann daher der Elementwiderstand mit einem hohen Genauigkeitsgrad erfaßt werden, wobei dadurch die Aufgabe der Erfindung gelöst wird.

Die Erfindung wurde zwar im Zusammenhang mit den bevorzugten Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung vollständig beschrieben, jedoch ist anzumerken, daß für den Fachmann verschiedene Abänderungen und Abwandlungen ersichtlich sind.

Beispielsweise wird zwar bei dem Elementwiderstand-Meßprozeß nach Fig. 10 die Aufeinanderfolge des Einstellens der angelegten Spannung auf negative und auf positive Spannung bei dem ersten Ausführungsbeispiel in Abhängigkeit davon eingestellt, ob zu einem bestimmten Zeitpunkt das Luft/Brennstoff-Gemisch fett oder mager ist, jedoch kann diese Aufeinanderfolge unabhängig von dem Luft/Brennstoff-Verhältnis A/F festgelegt werden. In diesem Fall wird die angelegte Spannung zwar immer von der positiven auf die negative oder von der negativen auf die positive Spannung geändert, jedoch werden vorzugsweise bei magerem Luft/Brennstoff-Gemisch die negative Spannungsänderung  $\Delta V$  und die negative Stromänderung  $\Delta I$  gemessen, während bei fettem Luft/Brennstoff-Gemisch die positive Spannungsänderung  $\Delta V$  und die positive Stromänderung  $\Delta I$  gemessen werden. Das gleiche gilt für die integrierte Lambda-Sonde 60 gemäß dem sechsten Ausführungsbeispiel.

Ferner kann bei dem zweiten bis fünften Ausführungsbeispiel die integrierte Sonde gemäß der Beschreibung bei dem sechsten Ausführungsbeispiel verwendet werden. In diesem Fall können die gleichen Funktionen und Nutzwirkungen wie die vorangehend beschriebenen erzielt werden.

Bei dem vorangehend beschriebenen fünften Ausführungsbeispiel wird ein erster vorbestimmter Wert für das selektive Anwenden entweder des auf der Spannungsänderung beruhenden Elementwiderstand-Meßverfahrens oder des auf der Stromkreisunterbrechung beruhenden Elementwiderstand-Meßverfahrens in die Nähe des Maximalwertes oder des Minimalwertes des Dynamikbereiches gelegt während ein zweiter vorbestimmter Wert zu dem mittigen Abschnitt des Dynamikbereiches hin versetzt gelegt wird. Der zweite vorbe-

stimmte Wert kann zum selektiven Einstellen des auf der Spannungsänderung beruhende Elementwiderstand-Meßverfahrens herangezogen werden. Das heißt, wenn mit dem zweiten vorbestimmten Wert als Grenzlinie der erfaßte Strom höher als der zweite vorbestimmte Wert ist, wird der Elementwiderstand nur aufgrund der Stromänderung an der positiven oder der negativen Seite zu der Innenseite des Dynamikbereiches hin erfaßt, und wenn der gemessene Strom niedriger als der zweite vorbestimmte Wert ist, wird der Elementwiderstand aufgrund der sich durch das Anlegen von Spannung ergebenden gesamten Stromänderung sowohl zu der positiven als auch zu der negativen Seite hin erfaßt. In diesem Fall wird die Genauigkeit der Messung des Elementwiderstandes näher an der Mitte des Dynamikbereiches größer. Dabei kann zum Beseitigen der Diskontinuität zwischen den Meßwerten für den Elementwiderstand, die durch das selektive Anwenden der jeweiligen Meßverfahren verursacht wird, ein Meßergebnis an dem mittigen Teil des Dynamikbereiches zum Korrigieren der jeweiligen Meßwerte bei den beiden Verfahren herangezogen werden.

Wenn die bei dem sechsten Ausführungsbeispiel beschriebene integrierte Sonde verwendet wird, ist es gemäß der Beschreibung der Varianten des ersten Ausführungsbeispiels (Fig. 13A bis 15D) auch möglich, die Kurvenform der angelegten Spannung oder deren Lage für das Messen von  $\Delta V$  und  $\Delta I$  abzuändern.

Obgleich bei den vorangehend beschriebenen Ausführungsbeispielen die Erfindung bei einer Lambda-Sonde für das Erfassen der Sauerstoffkonzentration in dem Abgas einer Kraftfahrzeugmaschine bzw. für das Erfassen des Luft/Brennstoff-Verhältnisses angewandt wird, ist die Anwendung der Erfindung nicht allein auf die Lambda-Sonde für Fahrzeuge eingeschränkt. Vielmehr kann die Erfindung auch für andere Zwecke angewandt werden. Beispielsweise ist es möglich, die Erfindung bei einem Sauerstoffkonzentrationsensor für das Messen der Konzentration von Sauerstoff z. B. in verbrennbaren Gasen (Methangas, Ethangas und dergleichen) anzuwenden.

Bei den vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispielen werden durch das Umformen der von dem Mikroprozessor 20 erzeugten digitalen Signale mit einer vorbestimmten Zeitkonstante die Signale zu sinusartigen Signalen umgewandelt, die für das Messen des Elementwiderstandes benutzt werden. Der Mikroprozessor 20 kann jedoch auch sinusförmige Signale erzeugen, welche für das Messen des Elementwiderstandes verwendet werden.

Eine Lambda-Sonde erzeugt im Ansprechen auf ein Steuersignal aus einem Mikroprozessor linear Meßsignale für ein Luft/Brennstoff-Verhältnis, die zu der Konzentration von Sauerstoff im Abgas aus einer Maschine proportional sind. Ein von dem Mikroprozessor erzeugtes Vorspannungssteuersignal wird einen D/F-Umsetzer zugeführt, der es in ein analoges Signal umsetzt. Das Signal wird dann einem Tiefpaßfilter zum Beseitigen der Hochfrequenzkomponenten des analogen Signals zugeführt. Die Ausgangsspannung des Tiefpaßfilters wird einer Vorspannungssteuerschaltung zugeführt. An die Lambda-Sonde wird durch das Tiefpaßfilter ein einzelnes Wechselspannungssignal mit einer vorbestimmten Frequenz und einer vorbestimmten Zeitkonstante angelegt. Aus der Spannung des Wechselspannungssignals und der durch das Anlegen des Wechselspannungssignals verursachten Änderung des Strompegels der Lambda-Sonde wird der Elementwi-



derstand der Lambda-Sonde ermittelt.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen des Elementwiderstandes eines Sauerstoffsensors, der zum Bestimmen der Sauerstoffkonzentration in einer Gasprobe verwendet wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Zeitkonstante eingestellt wird, die einer Frequenz entspricht, bei der der Verlauf der Impedanz (ZAC) des Sauerstoffsensors (30) gleichmäßig ist, an den Sauerstoffsensor eine Spannung ( $V_p$ ) angelegt wird, die sich mit der Zeitkonstante ändert, eine durch die Spannungsänderung verursachte Stromänderung ( $\Delta I$ ) des in dem Sauerstoffsensor fließenden Stromes ( $I_p$ ) ermittelt wird und der Elementwiderstand ( $R$ ) des Sauerstoffsensors aus der Spannungsänderung ( $\Delta V$ ) und der Stromänderung ( $\Delta I$ ) ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß als geänderte Spannung ( $V_p$ ) eine Spannung angelegt wird, die sich in einer einzigen Spannungskurvenform mit der Zeitkonstante ändert.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei dem Einstellen der Zeitkonstante ein Frequenzbereich ermittelt wird, in dem der Verlauf der Impedanz (ZAC) des Sauerstoffsensors (30) gleichmäßig ist, und die Zeitkonstante entsprechend einer bestimmten Frequenz innerhalb des Frequenzbereiches eingestellt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Zeitkonstante auf ungefähr  $159 \mu s$  eingestellt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß als geänderte Spannung ( $V_p$ ) eine Spannung angelegt wird, die sich mit einer positiven Neigung oder mit einer negativen Neigung ändert.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß als geänderte Spannung ( $V_p$ ) eine Spannung angelegt wird, die sich mit einem Abschnitt negativer Neigung und einem Abschnitt positiver Neigung ändert, als Stromänderung ( $\Delta I$ ) die durch den Abschnitt negativer Neigung oder den Abschnitt positiver Neigung verursachte Stromänderung ermittelt wird und der Elementwiderstand ( $R$ ) aus der Spannungsänderung ( $\Delta V$ ) in dem Abschnitt negativer Neigung und der Stromänderung ( $\Delta I$ ) ermittelt wird, wenn die auf dem Abschnitt negativer Neigung beruhende Stromänderung ermittelt wird, bzw. aus der Spannungsänderung in dem Abschnitt positiver Neigung und der Stromänderung ermittelt wird, wenn die auf dem Abschnitt positiver Neigung beruhende Stromänderung ermittelt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Stromwert ( $I_{p0}$ ) innerhalb eines erfaßbaren Strombereiches des Sauerstoffsensors (30) angesetzt wird, wobei als geänderte Spannung ( $V_p$ ) eine sich mit negativer Neigung ändernde Spannung angelegt wird, wenn der Strom ( $I_p$ ) des Sauerstoffsensors mindestens gleich dem Stromwert ( $I_{p0}$ ) ist, bzw. eine sich mit positiver Neigung ändernde Spannung angelegt wird, wenn der Strom des Sauerstoffsensors kleiner als der Spannungswert ist, und als Stromänderung ( $\Delta I$ ) die durch die Spannungsänderung negativer Neigung verursachte Stromänderung ermittelt wird, wenn der Strom des Sauerstoffsensors mindestens so groß wie der Stromwert ist, bzw. die durch die Spannungsänderung positiver Neigung verursachte Stromänderung ermittelt wird, wenn der Strom des Sauerstoffsensors niedriger als der Stromwert ist.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Stromwert ( $I_{p0}$ ) ein Stromwert angesetzt wird, der annähernd in der Mitte des erfaßbaren Strombereiches des Sauerstoffsensors (30) liegt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß als geänderte Spannung ( $V_p$ ) dann, wenn mit dem Sauerstoffsensor (30) ein einem Magergemisch entsprechendes Luft/Brennstoff-Verhältnis ( $A/F$ ) erfaßt wird, eine Spannung angelegt wird, die den Strom im Sauerstoffsensor negativ macht, bzw. dann, wenn mit dem Sauerstoffsensor ein einem fetten Gemisch entsprechendes Luft/Brennstoff-Verhältnis erfaßt wird, eine Spannung angelegt wird, die den Strom im Sauerstoffsensor positiv macht.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß als geänderte Spannung ( $V_p$ ) eine Spannung angelegt wird, die einen Abschnitt negativer Neigung und einen Abschnitt positiver Neigung hat, und als Stromänderung ( $\Delta I$ ) die durch sowohl den Abschnitt negativer Neigung als auch den Abschnitt positiver Neigung der geänderten Spannung verursachte Stromänderung ermittelt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4 und 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß die geänderte Spannung ( $V_p$ ) mit einem Abschnitt positiver Neigung und einem Abschnitt negativer Neigung derart eingestellt wird, daß eine in dem Sauerstoffsensor (30) durch das Anlegen der Spannung mit der positiven Neigung bewegte Menge elektrischer Ladungen gleich einer in dem Sauerstoffsensor durch das Anlegen der Spannung mit der negativen Neigung bewegten Menge elektrischer Ladungen ist.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Amplitude einer nächsten geänderten Spannung ( $V_p$ ) entsprechend dem ermittelten Elementwiderstand ( $R$ ) eingestellt wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Zeitkonstante eine Zeitkonstante eingestellt wird, die bei dem Messen des Elementwiderstandes ( $R$ ) des Sauerstoffsensors (30) und bei dem Erfassen des Luft/Brennstoff-Verhältnisses ( $A/F$ ) mit dem Sauerstoffsensor voneinander verschiedene Werte hat.
14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei dem Einstellen der Zeitkonstanten zwei voneinander verschiedene Zeitkonstantenwerte bereitgestellt werden und zum Einstellen als Zeitkonstante der Zeitkonstantenwert in Abhängigkeit davon gewählt wird, ob der Elementwiderstand ( $R$ ) des Sauerstoffsensors (30) gemessen wird oder mit dem Sauerstoffsensor das Luft/Brennstoff-Verhältnis ( $A/F$ ) erfaßt wird.
15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei dem Wählen der Zeitkonstante

der größte Wert der Zeitkonstantenwerte gewählt wird, wenn mit dem Sauerstoffsensor (30) das Luft/Brennstoff-Verhältnis (A/F) erfaßt wird, bzw. der kleinere Wert der Zeitkonstantenwerte gewählt wird, wenn der Elementwiderstand (R) des Sauerstoffsensors gemessen wird.

16. Verfahren zum Messen des Elementwiderstandes eines Sauerstoffsensors, der für das Ermitteln der Sauerstoffkonzentration in einer Gasprobe verwendet wird, dadurch gekennzeichnet, daß selektiv ein erstes Meßverfahren, bei dem eine Zeitkonstante eingestellt wird, die einer Frequenz entspricht, bei der der Verlauf der Impedanz (ZAC) des Sauerstoffsensors gleichmäßig ist, an den Sauerstoffsensor eine Spannung ( $V_p$ ) angelegt wird, die sich mit der Zeitkonstante ändert, eine durch die geänderte Spannung verursachte Stromänderung ( $\Delta I$ ) des in dem Sauerstoffsensor fließenden Stromes ( $I_p$ ) ermittelt wird und der Elementwiderstand (R) des Sauerstoffsensors aus der Spannungsänderung ( $\Delta V$ ) und der Stromänderung ( $\Delta I$ ) ermittelt wird, und/oder ein zweites Meßverfahren ausgeführt wird, bei dem der Sauerstoffsensor ausgeschaltet wird, eine durch das Abschalten des Sauerstoffsensors veränderte Spannung ( $E_o$ ) an dem Sauerstoffsensor erfaßt wird, eine durch die geänderte Spannung ( $E_o$ ) verursachte Stromänderung ( $\Delta I$ ) des Stromes ( $I_p$ ) des Sauerstoffsensors erfaßt wird und der Elementwiderstand ( $R_e$ ) aus der geänderten Spannung ( $E_o$ ) und der Stromänderung ( $\Delta I$ ) ermittelt wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß innerhalb eines erfaßbaren Strombereiches des Sauerstoffsensors (30) mindestens ein Bezugsstrompegel ( $I_{p0}$ ,  $I_{p1}$ ,  $I_{p0'}$ ,  $I_{p1'}$ ) angesetzt wird, der Ausgangsstrom ( $I_p$ ) des Sauerstoffsensors erfaßt wird und ein einem stöchiometrischen Luft/Brennstoff-Verhältnis (A/F) entsprechender optimaler Strompegel eingestellt wird, wobei das erste Meßverfahren gewählt wird, wenn der Ausgangsstrompegel näher an dem optimalen Strompegel liegt als der Bezugsstrompegel, bzw. das zweite Meßverfahren gewählt wird, wenn der Ausgangsstrompegel nicht näher an dem optimalen Strompegel liegt als der Bezugsstrompegel.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Bezugsstrompegel ( $I_{p0}$ ,  $I_{p1}$ ,  $I_{p0'}$ ,  $I_{p1'}$ ) nahe an entweder einem Minimalwert oder einem Maximalwert des erfaßbaren Strombereiches angesetzt wird.

19. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß ein erster Bezugswert ( $I_{p0}$ ,  $I_{p1}$ ) der größer als ein Minimalwert und nahe an dem Minimalwert des erfaßbaren Strombereiches des Sauerstoffsensors ist, und ein zweiter Bezugswert ( $I_{p0'}$ ,  $I_{p1'}$ ) eingestellt wird, der kleiner als ein Maximalwert und nahe an dem Maximalwert des erfaßbaren Strombereiches ist, wobei das erste Meßverfahren gewählt wird, wenn der Wert des Ausgangsstromes ( $I_p$ ) größer als der erste Bezugswert und kleiner als der zweite Bezugswert ist, und das zweite Meßverfahren gewählt

wird, wenn der Wert des Ausgangsstromes nicht größer als der erste Bezugswert und nicht kleiner als der zweite Bezugswert ist.

20. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet,

daß ein erster Bezugsbereich ( $I_{p0}$ ,  $I_{p1}$ ), der größer als ein Minimalwert und nahe an dem Minimalwert des erfaßbaren Strombereiches des Sauerstoffsensors ist, und/oder ein zweiter Bezugsbereich ( $I_{p0'}$ ,  $I_{p1'}$ ) angesetzt wird, der kleiner als ein Maximalwert und nahe an dem Maximalwert des erfaßbaren Strombereiches ist,

wobei sowohl das erste Meßverfahren als auch das zweite Meßverfahren gewählt wird, wenn der Wert des Ausgangsstromes ( $I_p$ ) innerhalb des ersten Bezugsbereiches oder des zweiten Bezugsbereiches liegt.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß dann, wenn das Ausführen sowohl des ersten Meßverfahrens als auch des zweiten Meßverfahrens gewählt wird, aus dem nach dem ersten Meßverfahren ermittelten Elementwiderstand (R) und dem nach dem zweiten Meßverfahren ermittelten Elementwiderstand ( $R_e$ ) ein Korrekturkoeffizient ( $k_a$ ) ermittelt wird und entweder der nach dem ersten Meßverfahren ermittelte Elementwiderstand (R) oder der nach dem zweiten Meßverfahren ermittelte Elementwiderstand ( $R_e$ ) mittels des Korrekturkoeffizienten ( $k_a$ ) korrigiert wird.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß

der Verlauf der Impedanz (ZAC) des Sauerstoffsensors (30) nach dem ersten Meßverfahren ermittelt wird,

der Verlauf der Impedanz des Sauerstoffsensors nach dem zweiten Meßverfahren ermittelt wird, aus den nach dem ersten Meßverfahren und dem zweiten Meßverfahren ermittelten Impedanzverläufen ein Korrekturkoeffizient ermittelt wird und entweder der nach dem ersten Meßverfahren ermittelte Elementwiderstand (R) oder der nach dem zweiten Meßverfahren ermittelte Elementwiderstand ( $R_e$ ) mittels des Korrekturkoeffizienten ( $k_a$ ) korrigiert wird.

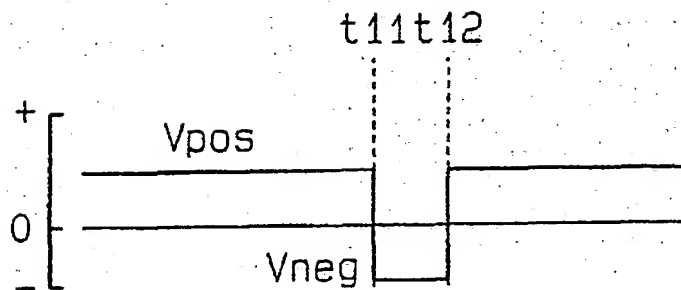
---

Hierzu 34 Seite(n) Zeichnungen

---

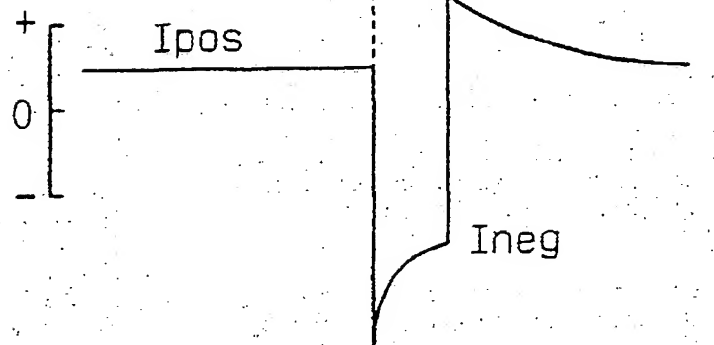
**FIG. 46A**  
STAND DER TECHNIK

ANGELEGTE  
SPANNUNG  
(V)



**FIG. 46B**  
STAND DER TECHNIK

SENSOR-  
STROM  
(mA)



ZEIT →

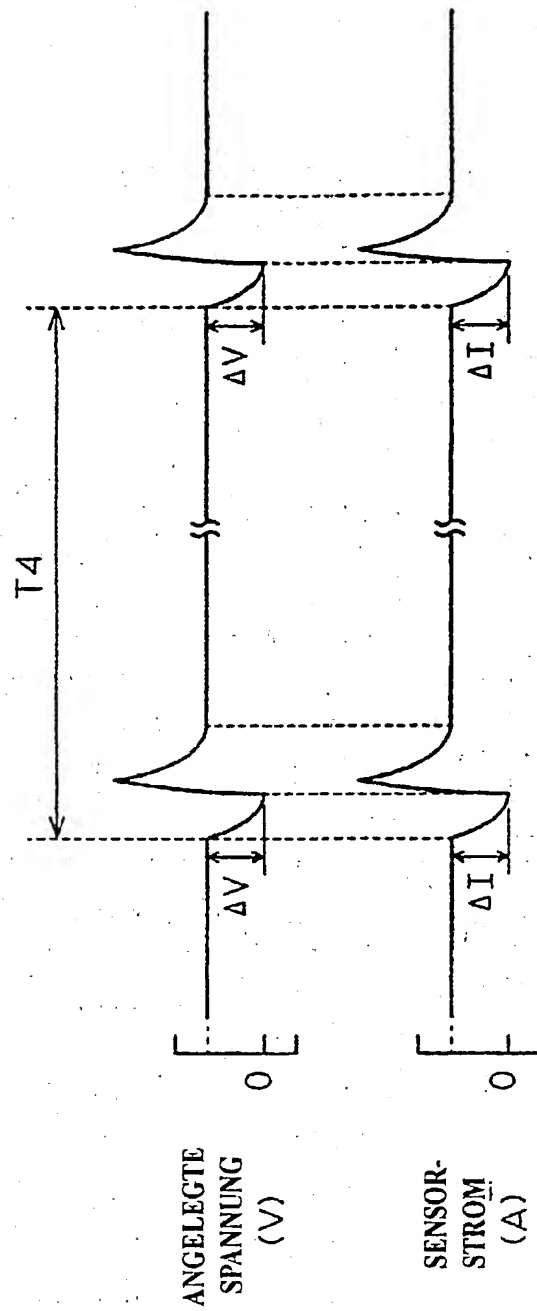


FIG. 45A

FIG. 45B





FIG. 42

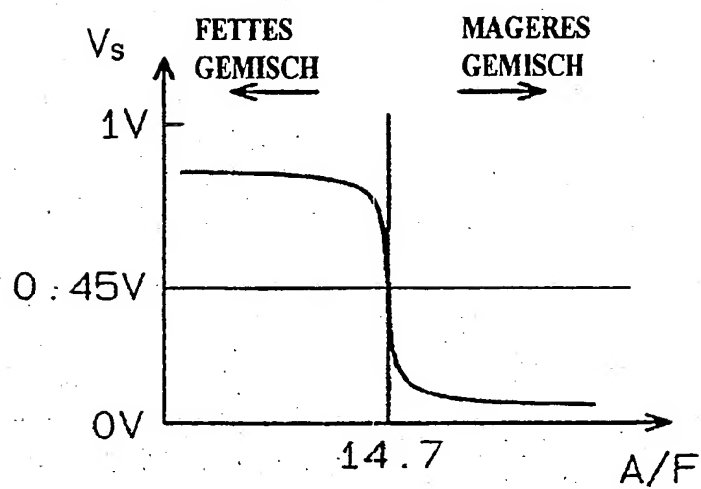


FIG. 43

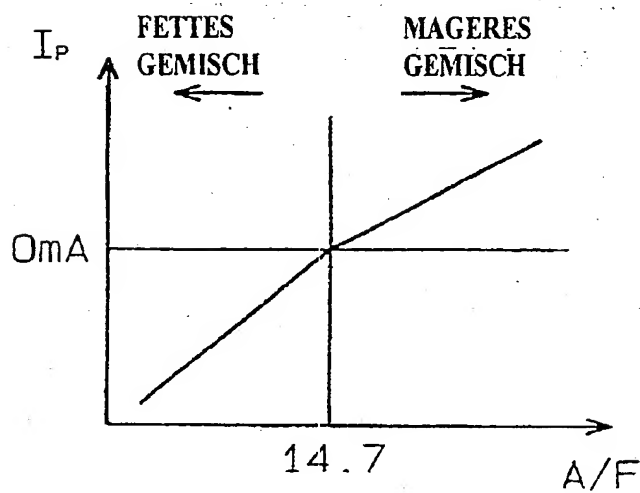


FIG. 41

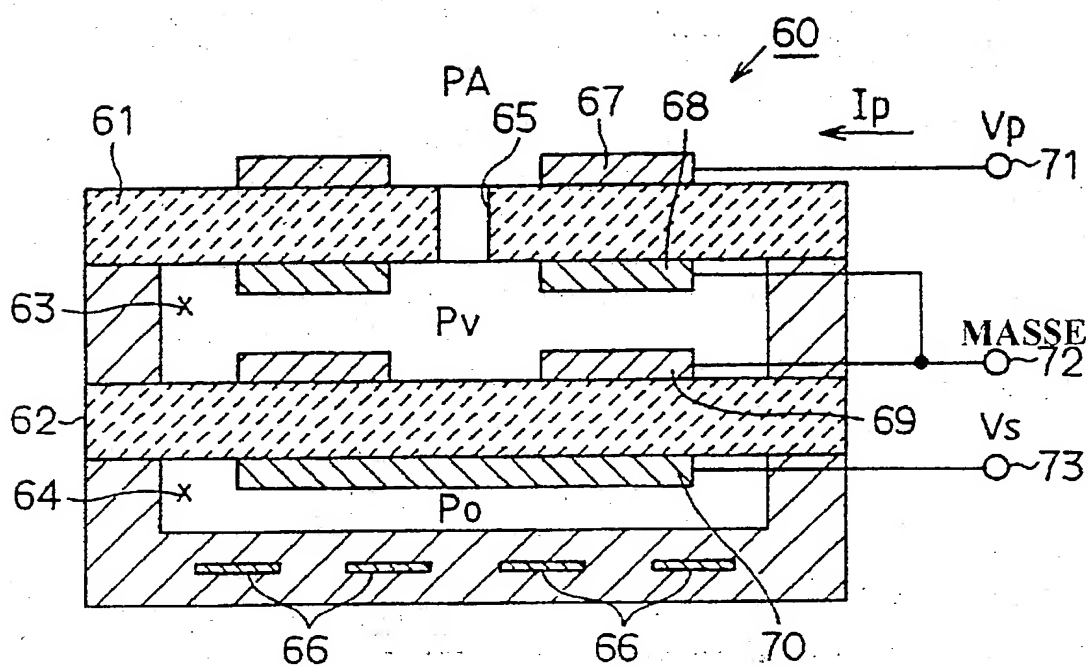


FIG. 39

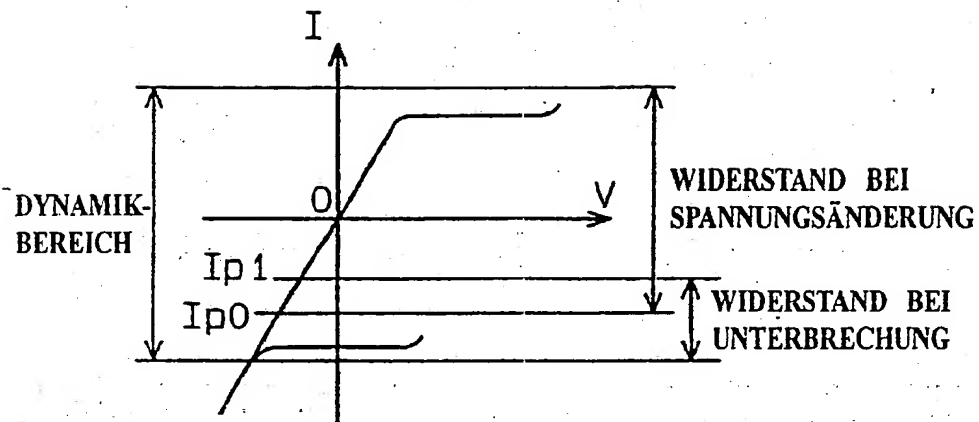


FIG. 40

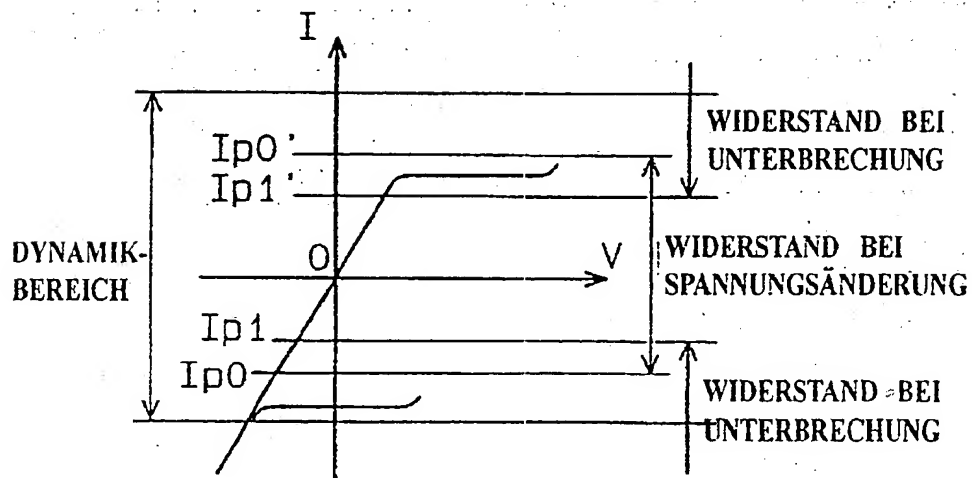


FIG. 37

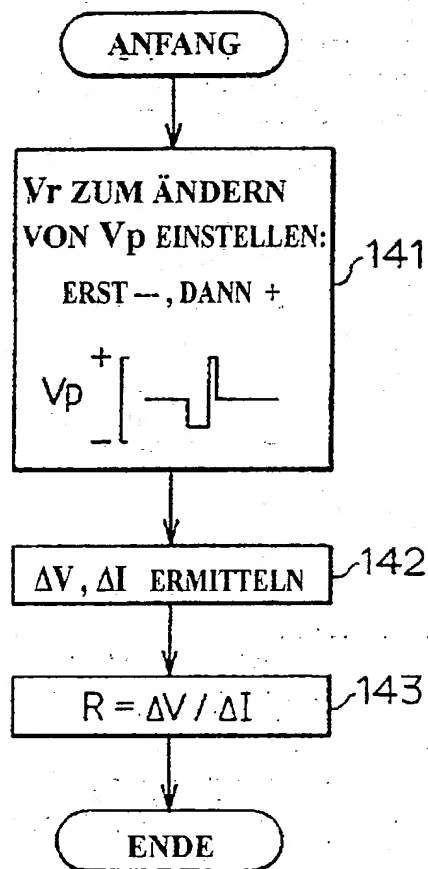


FIG. 38

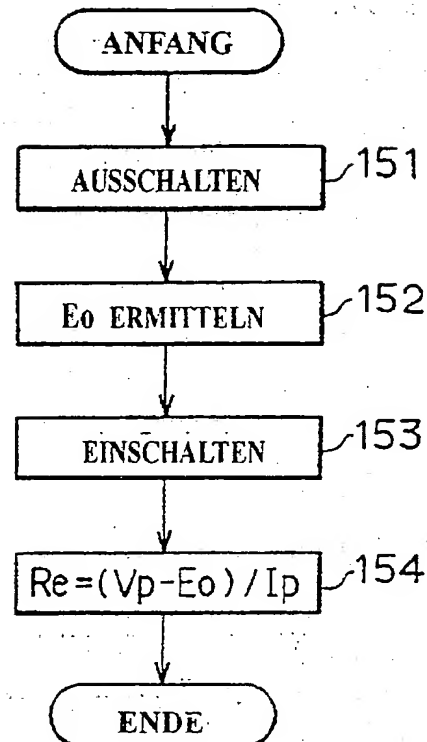


FIG. 36

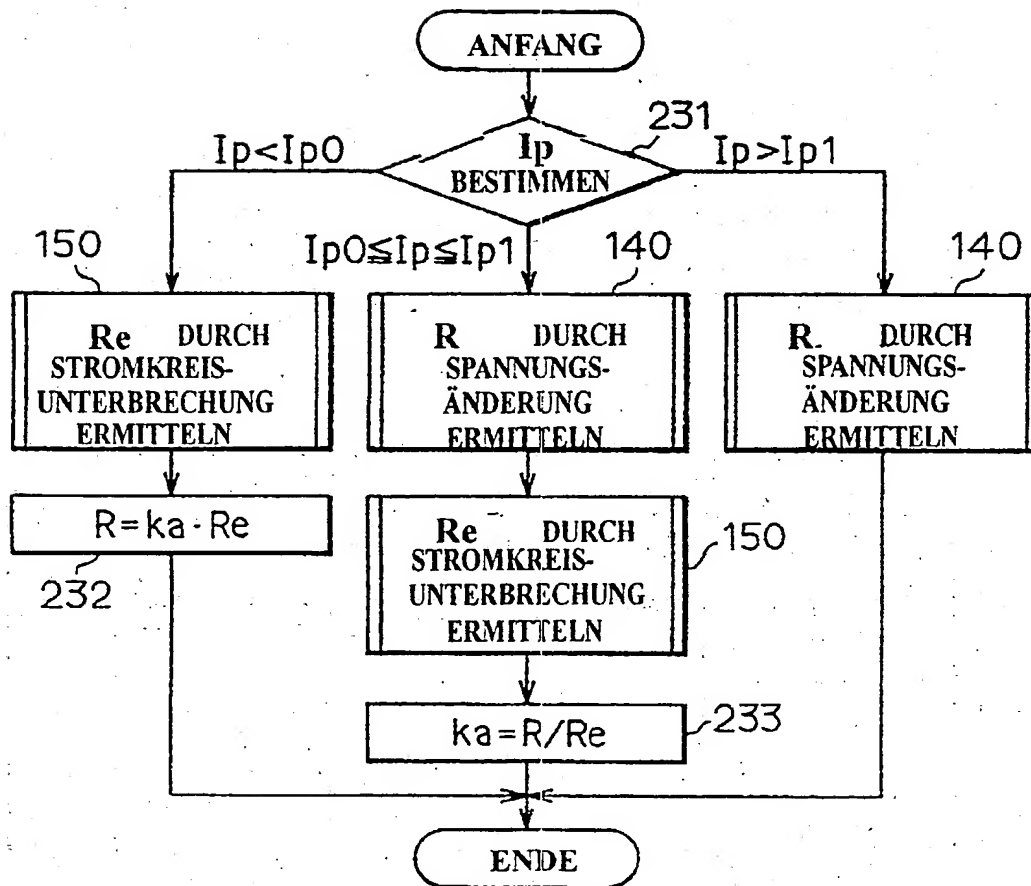




FIG. 35

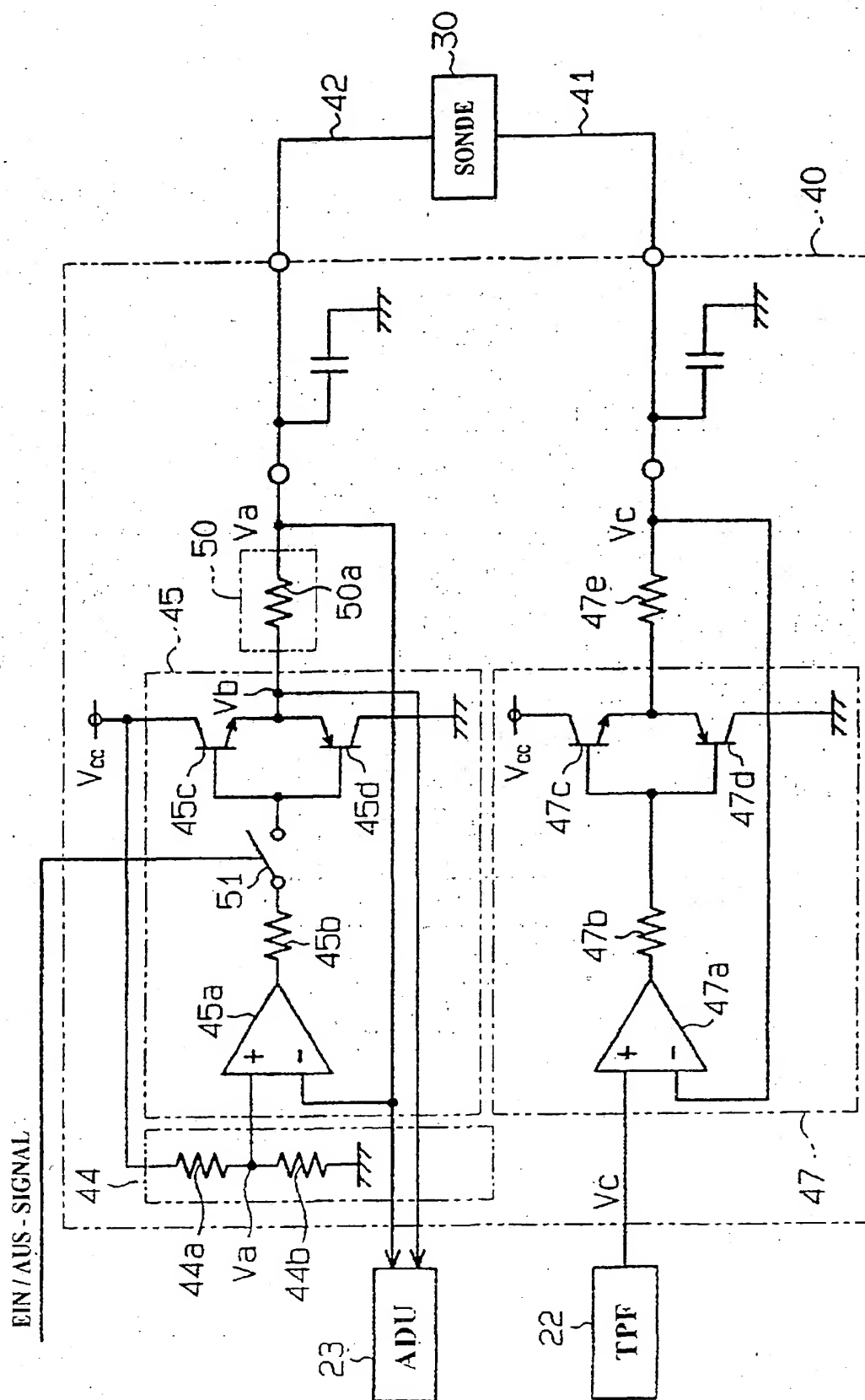


FIG. 34

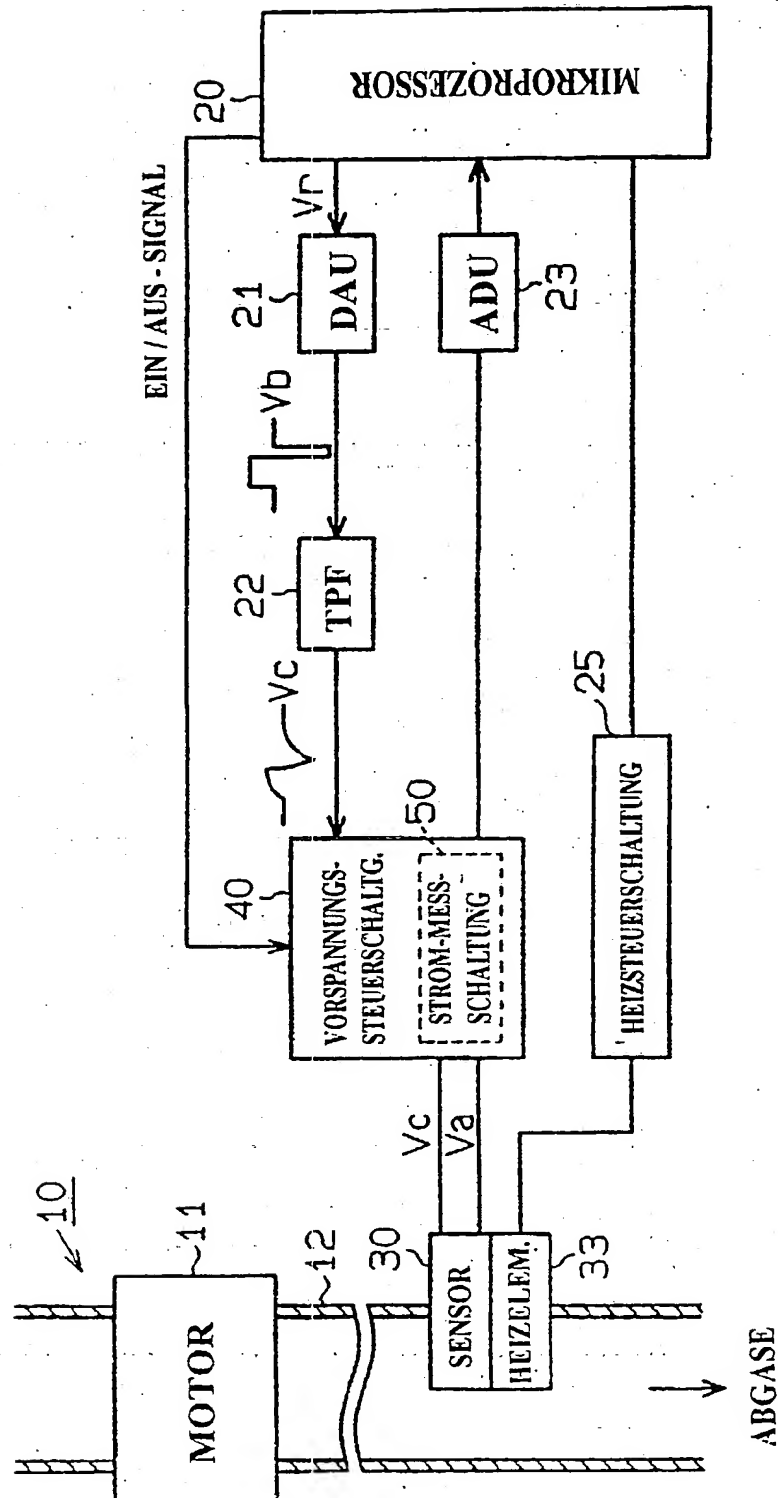


FIG. 33A

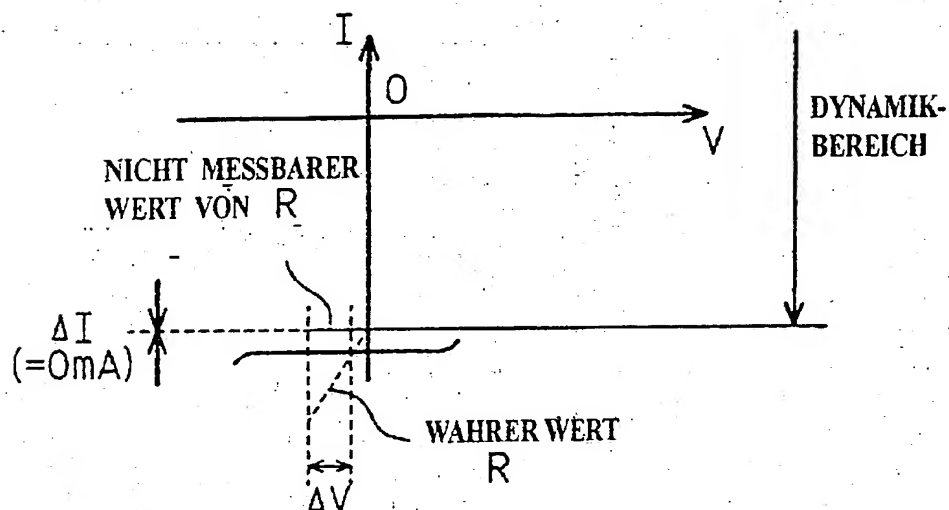


FIG. 33B

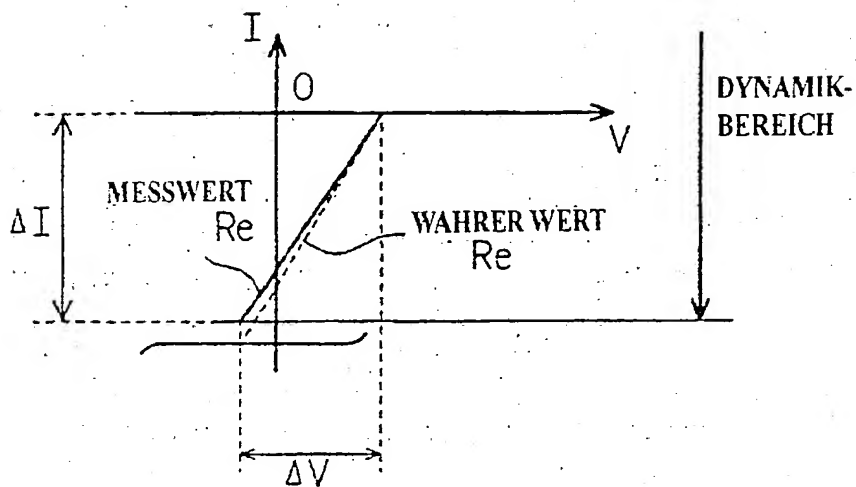


FIG. 31A

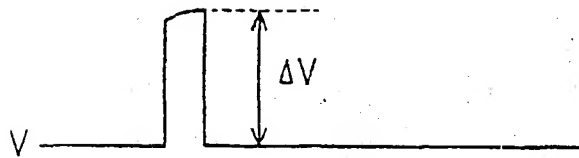
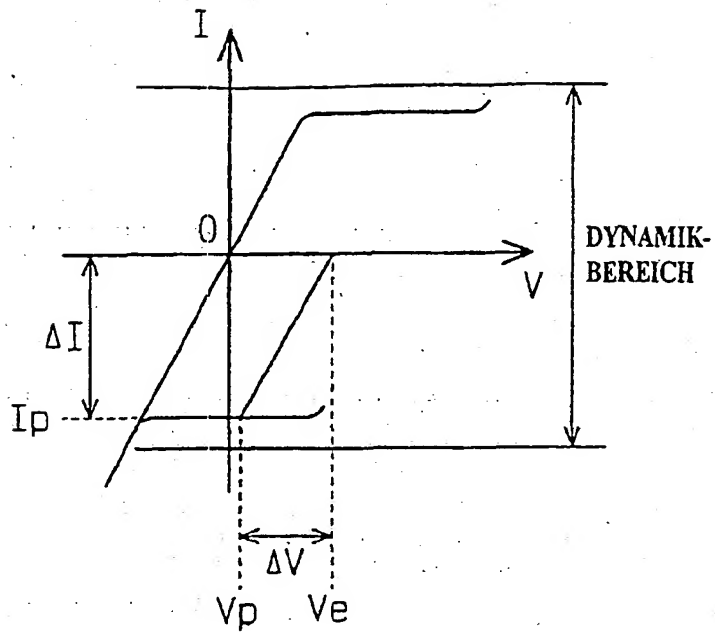


FIG. 31B

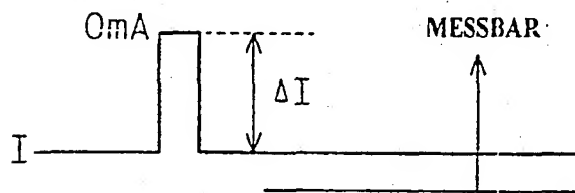


FIG. 31C

FIG. 32

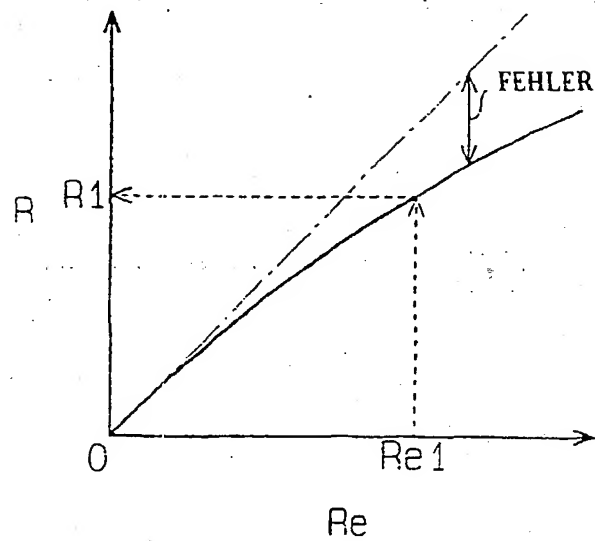


FIG. 30A

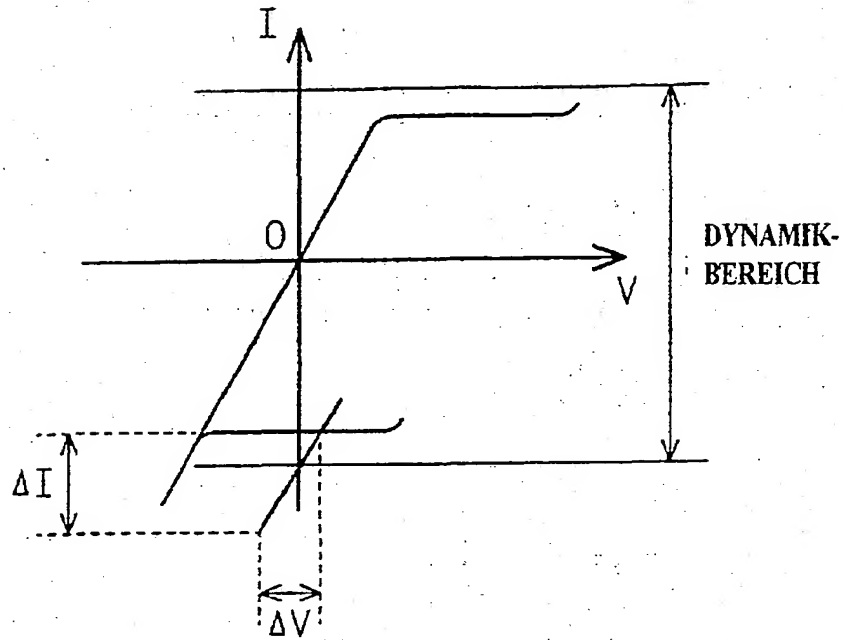


FIG. 30B

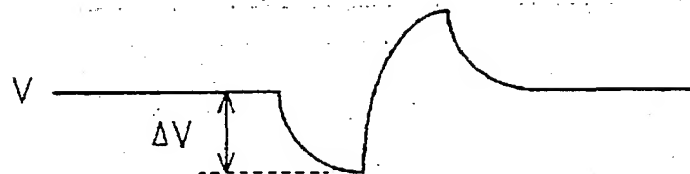


FIG. 30C

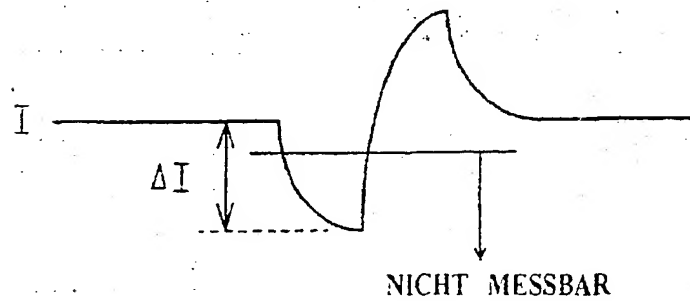


FIG. 29

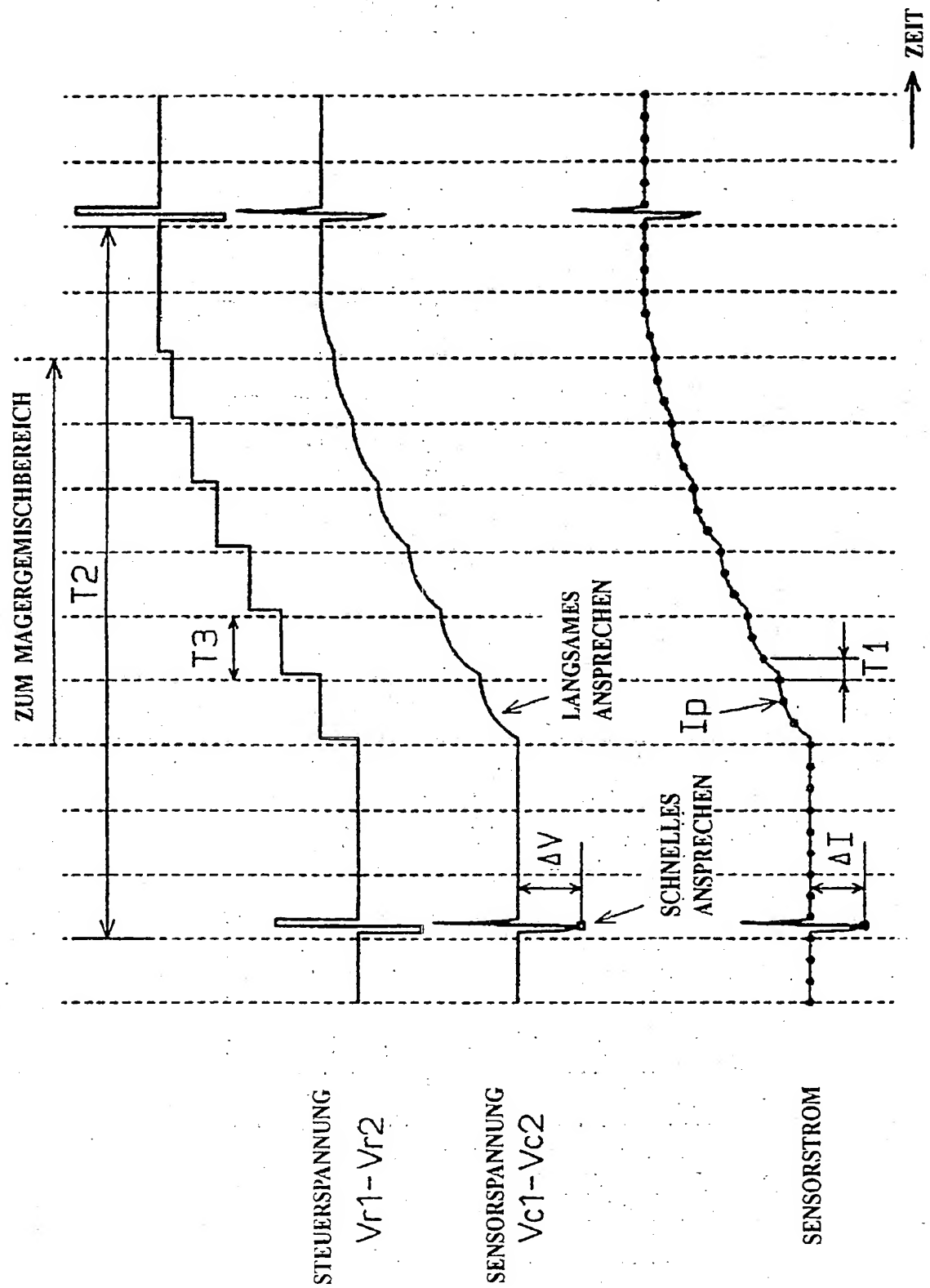




FIG. 27

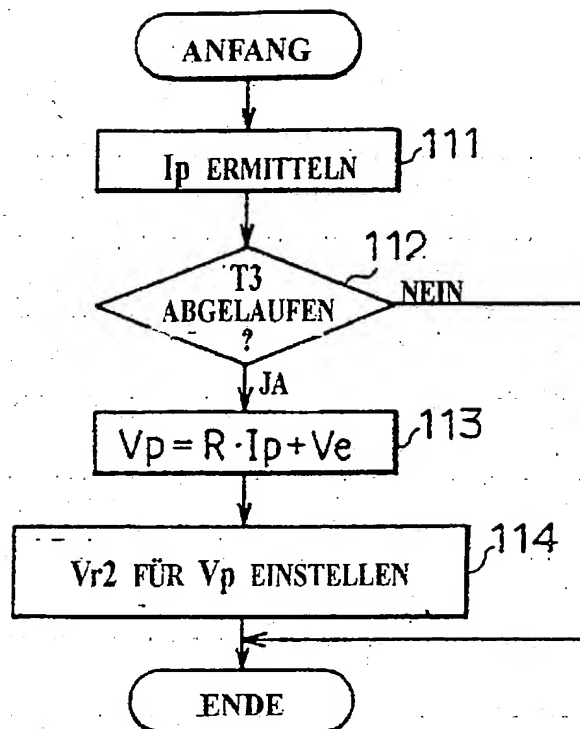


FIG. 28

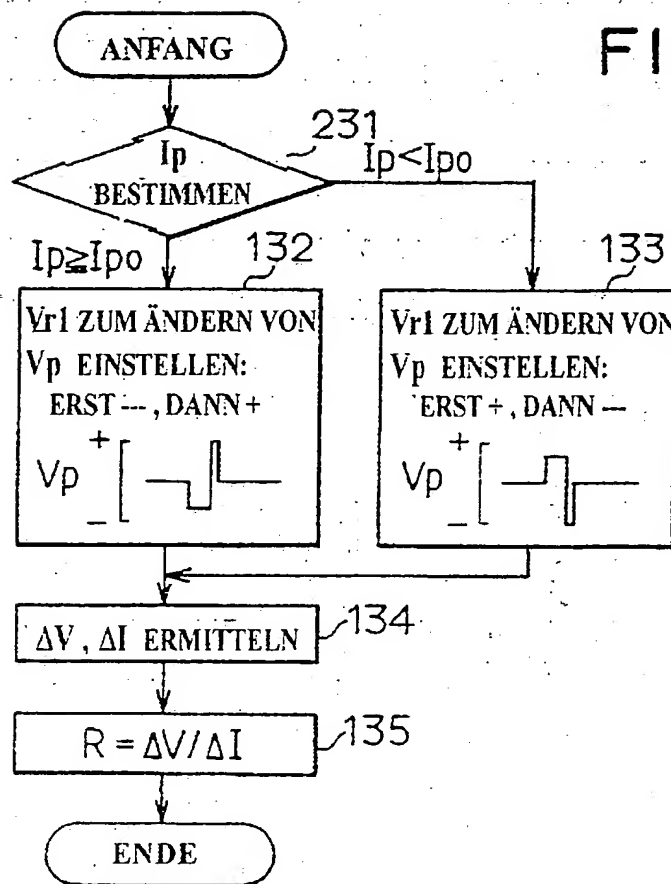


FIG. 26

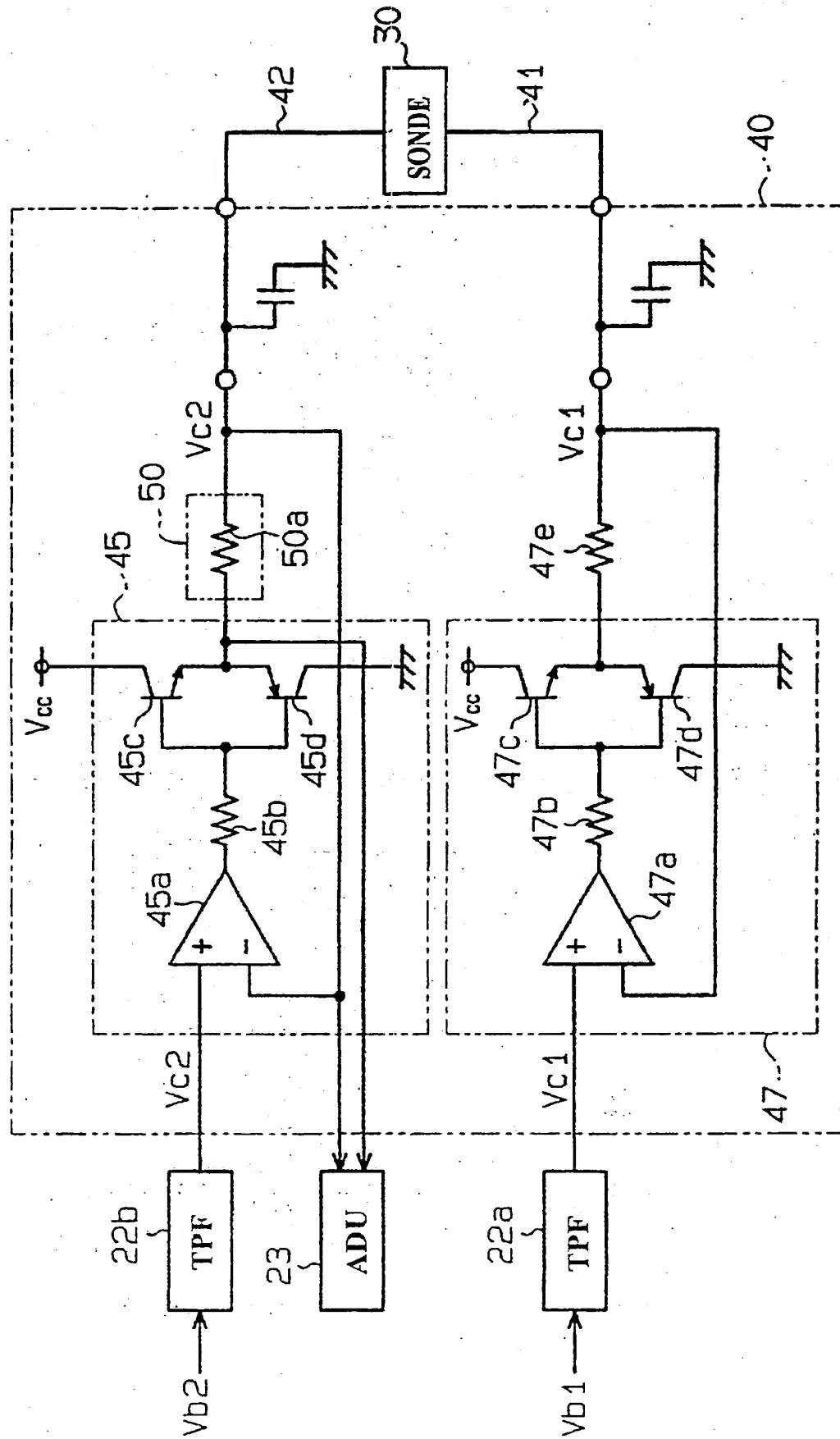


FIG. 25

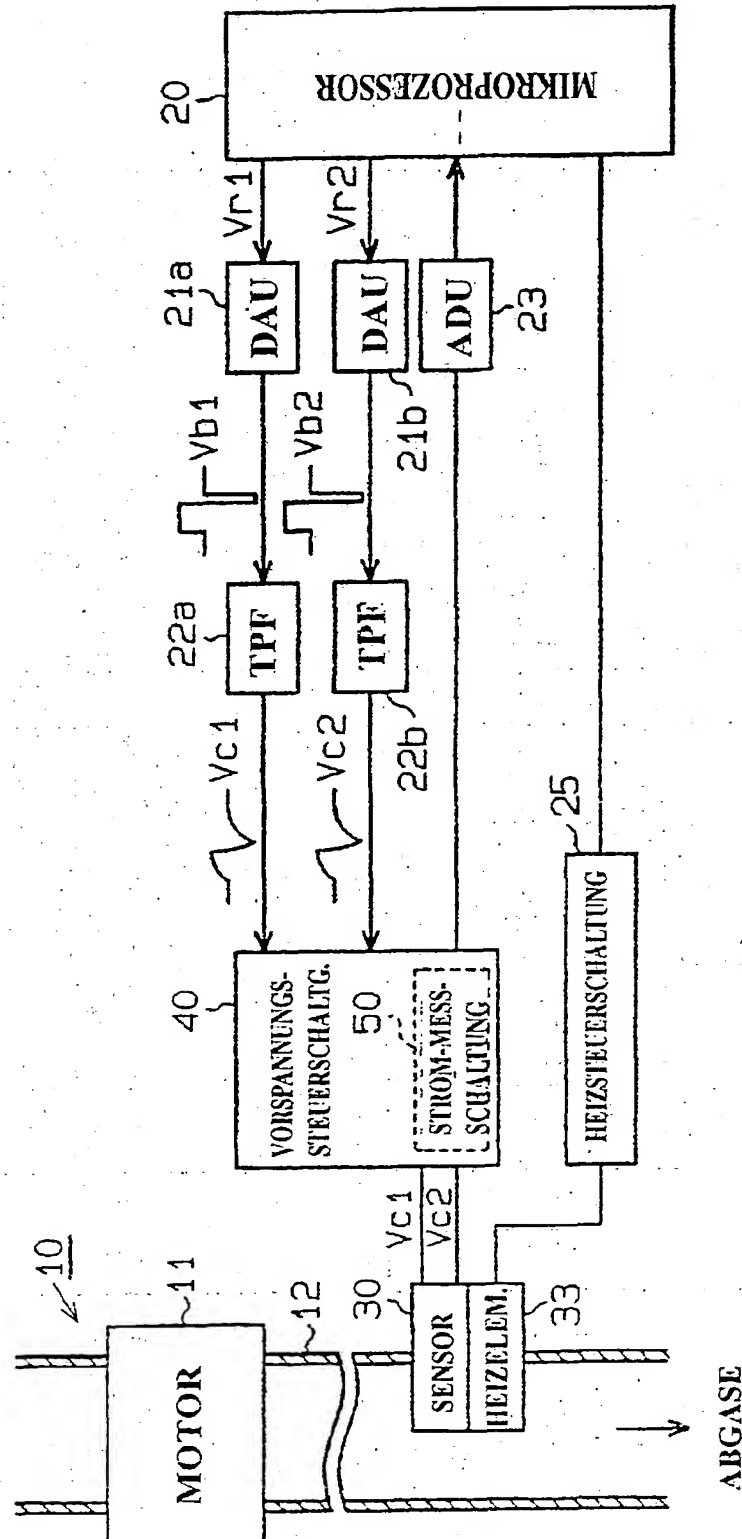


FIG. 23

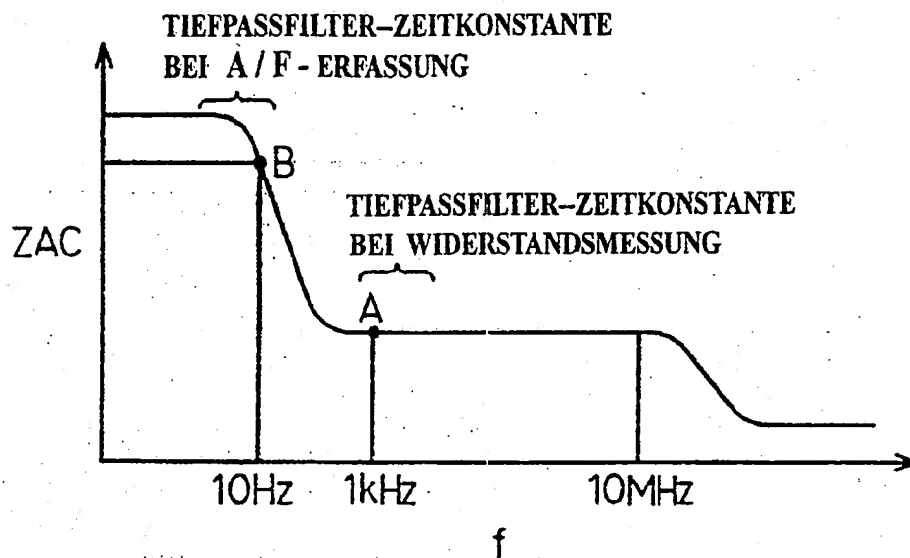


FIG. 24

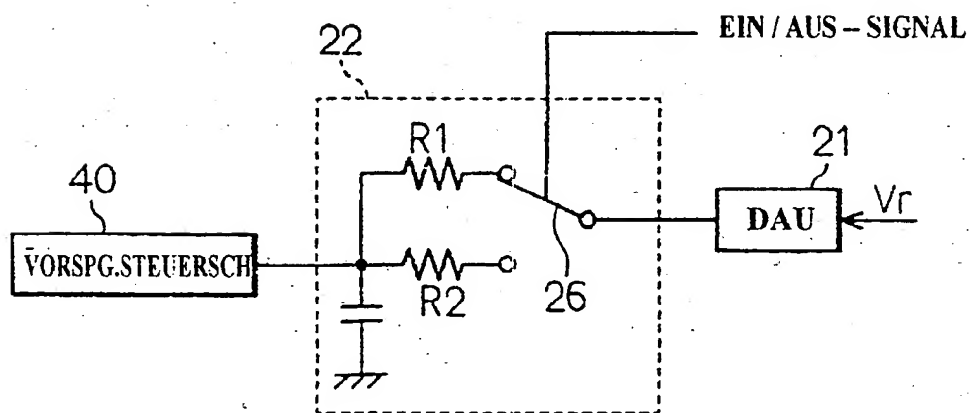


FIG. 21A

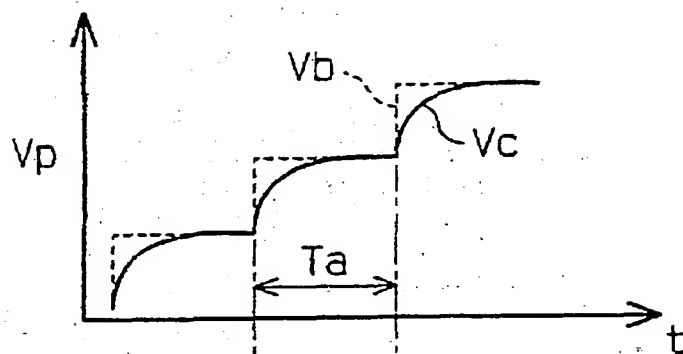


FIG. 21B

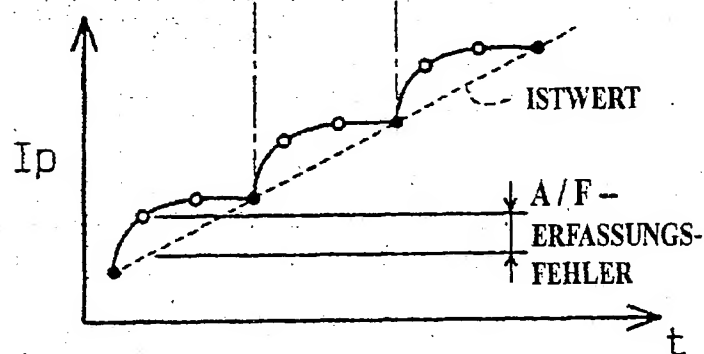


FIG. 22A

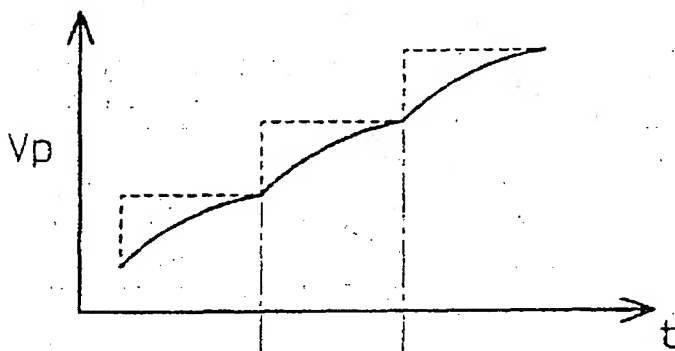


FIG. 22B

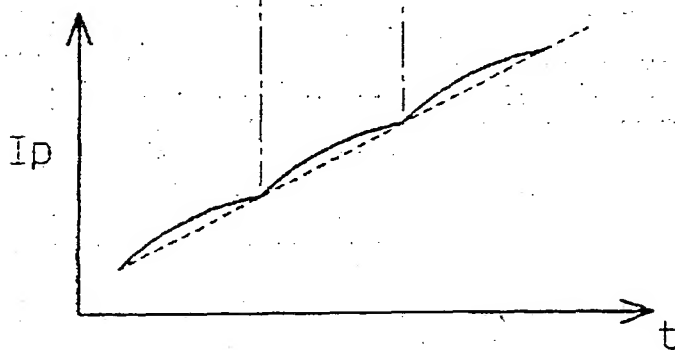


FIG. 20A

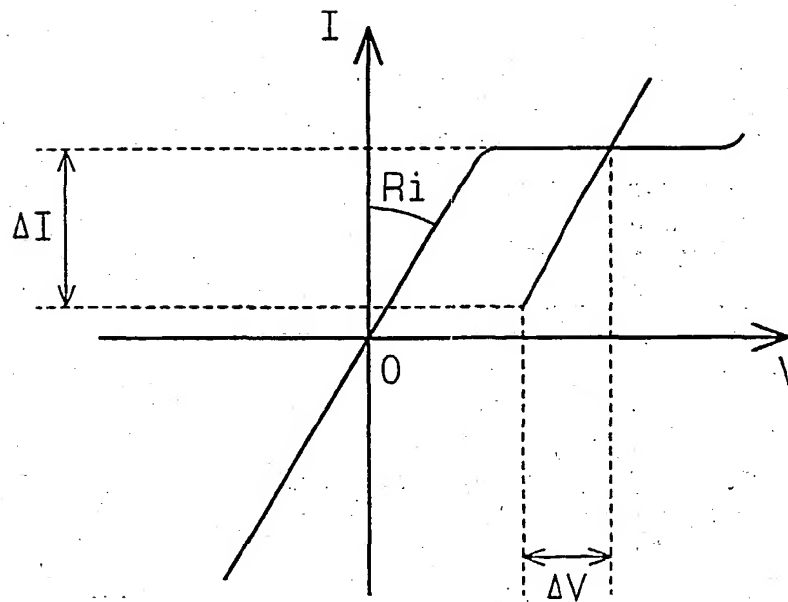


FIG. 20B

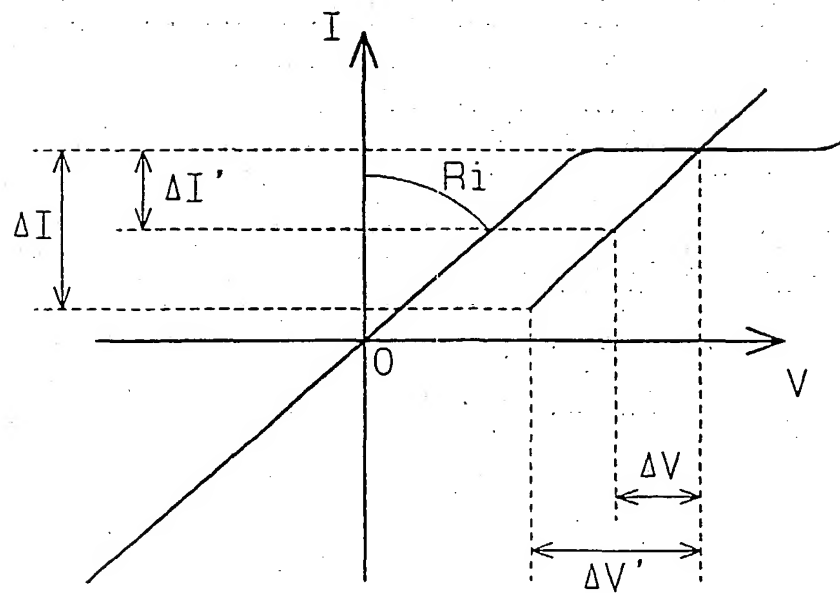




FIG. 19

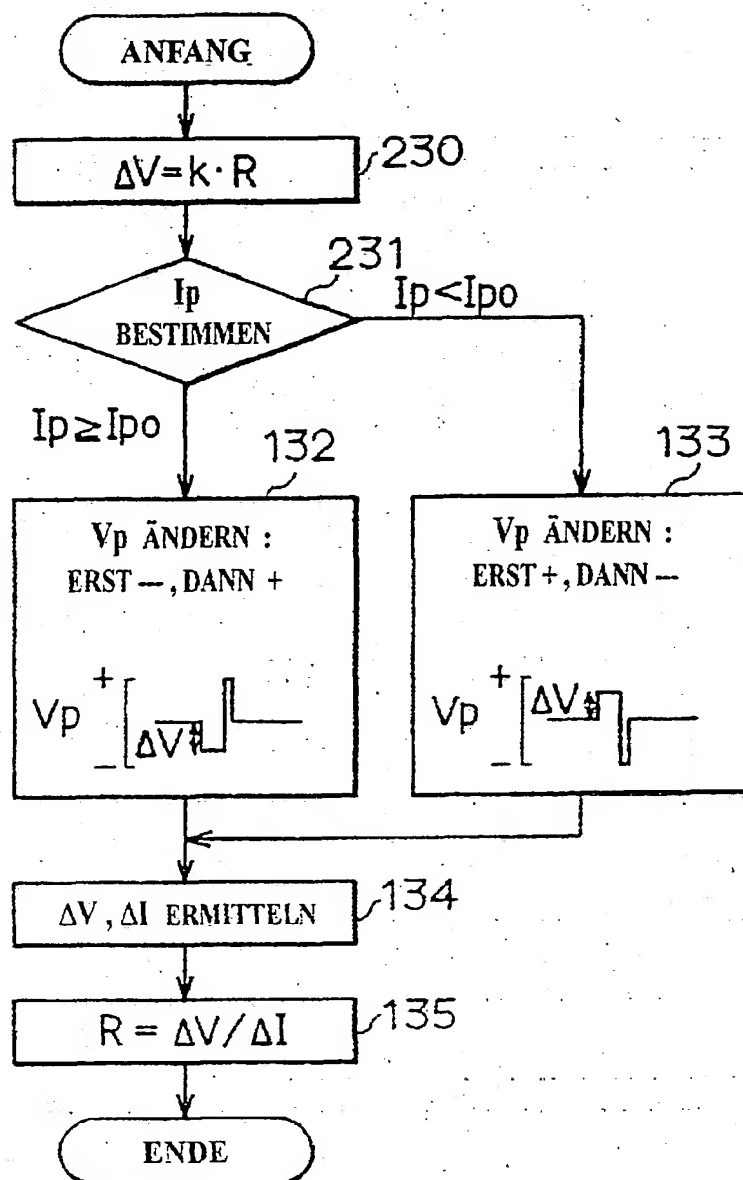


FIG. 17

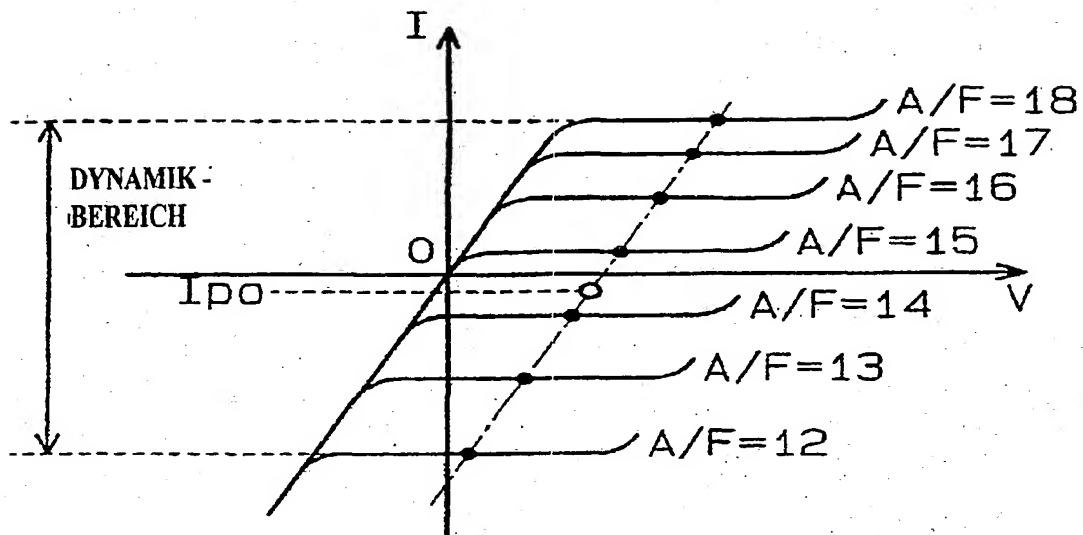


FIG. 18

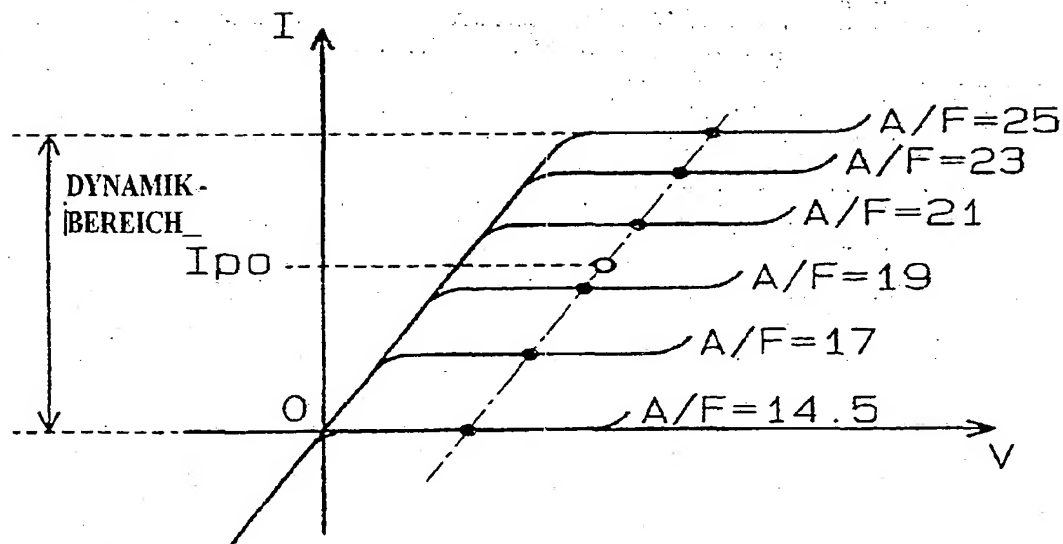


FIG. 16

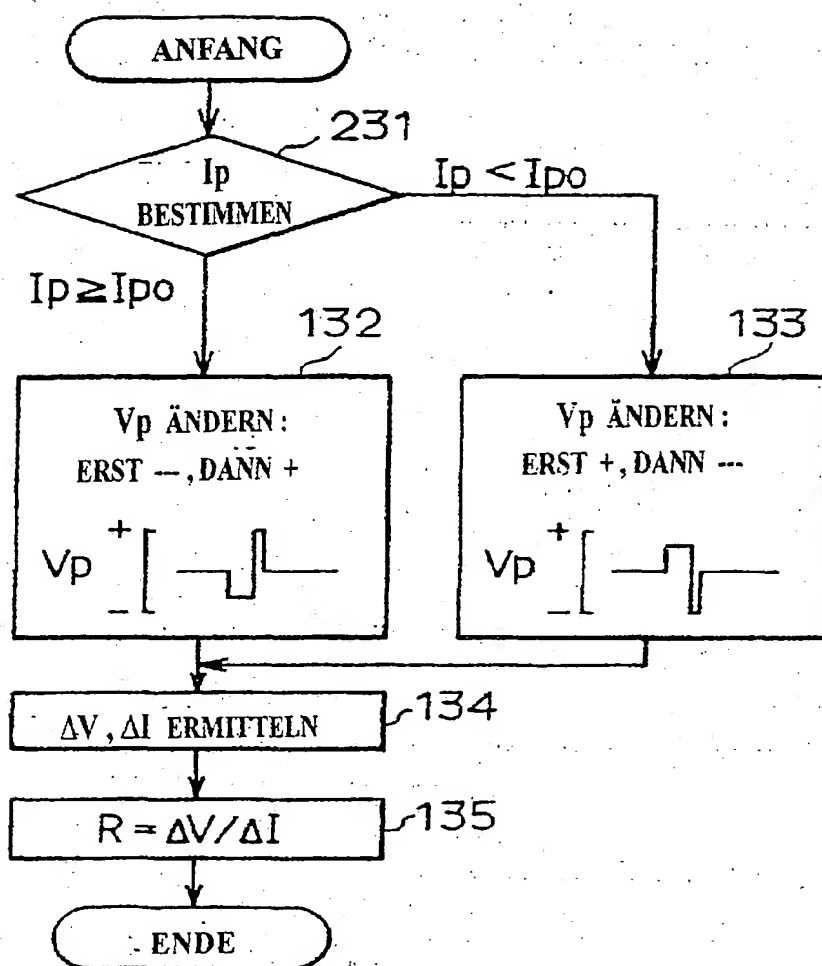


FIG. 15A

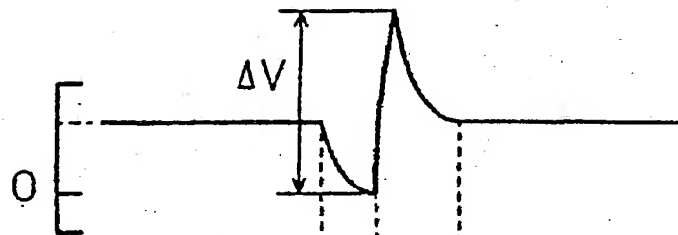
ANGELEGTE SPANNUNG  
(V)

FIG. 15B

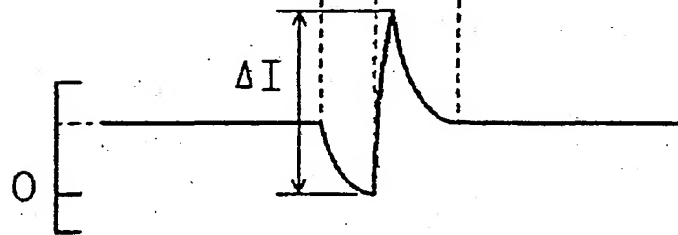
SENSORSTROM  
(A)

FIG. 15C

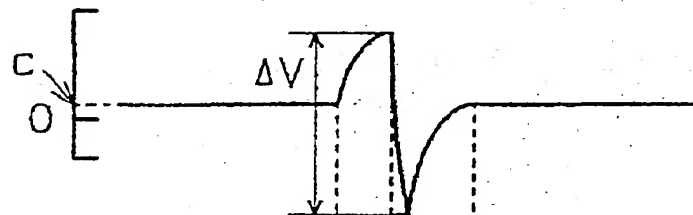
ANGELEGTE SPANNUNG  
(V)

FIG. 15D

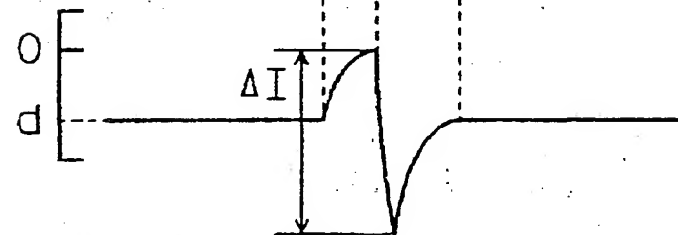
SENSORSTROM  
(A)

FIG. 14A

ANGELEGTE SPANNUNG  
(V)

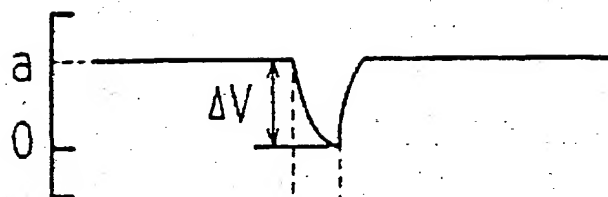


FIG. 14B

SENSORSTROM  
(A)

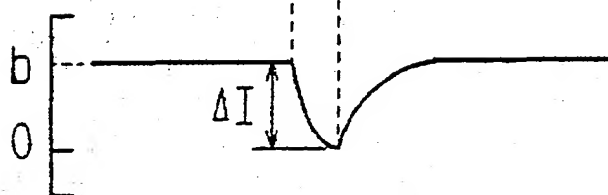


FIG. 14C

ANGELEGTE SPANNUNG  
(V)

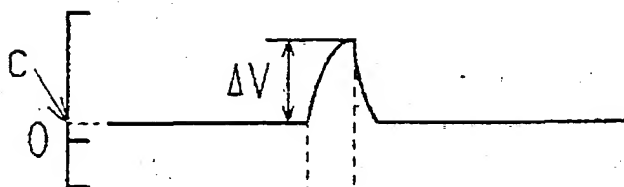


FIG. 14D

SENSORSTROM  
(A)

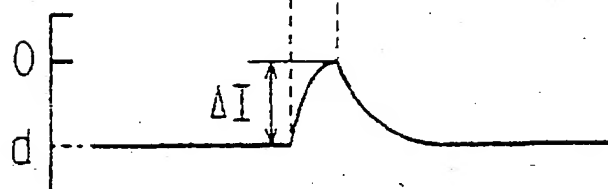


FIG. 13A

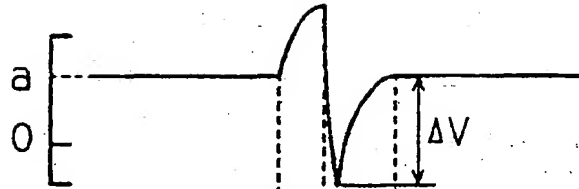
ANGELEGTE SPANNUNG  
(V)

FIG. 13B

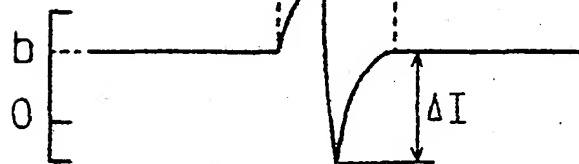
SENSORSTROM  
(A)

FIG. 13C

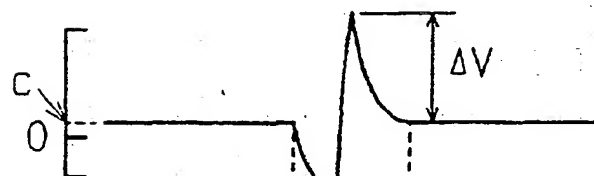
ANGELEGTE SPANNUNG  
(V)

FIG. 13D

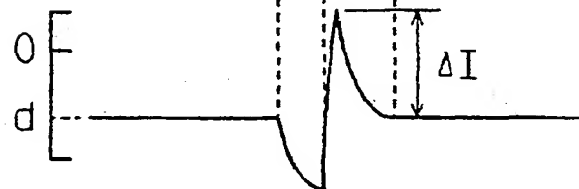
SENSORSTROM  
(A)



FIG. 12

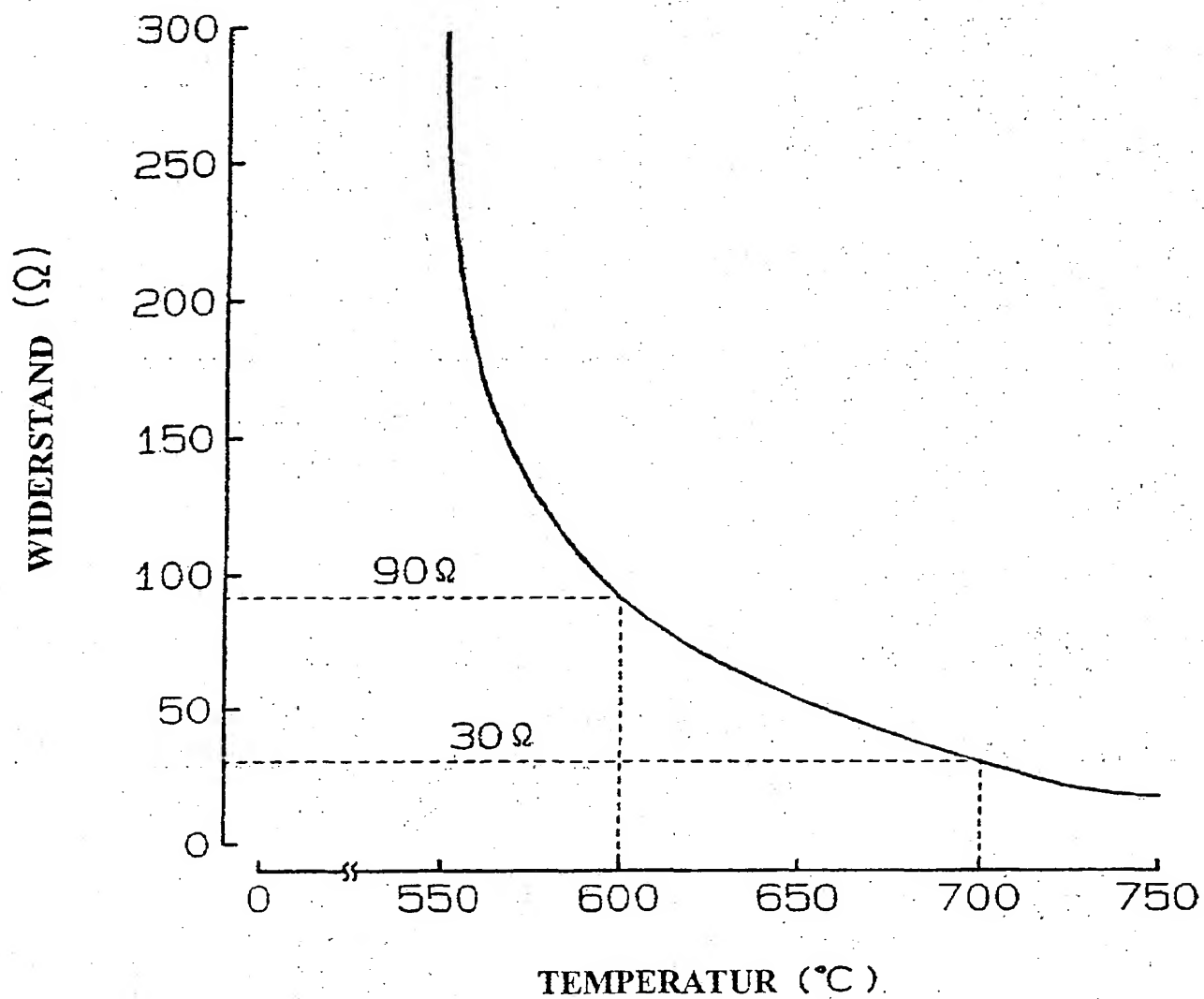


FIG. 11A

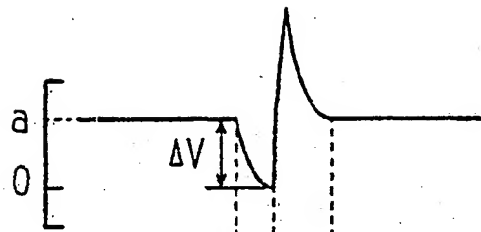
ANGELEGTE SPANNUNG  
(V)

FIG. 11B

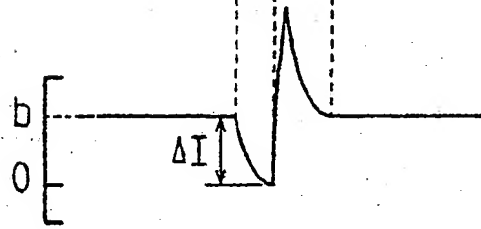
SENSORSTROM  
(A)

FIG. 11C

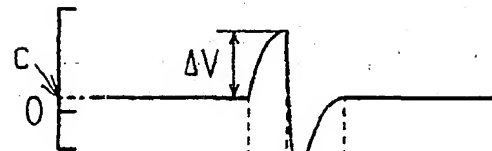
ANGELEGTE SPANNUNG  
(V)

FIG. 11D

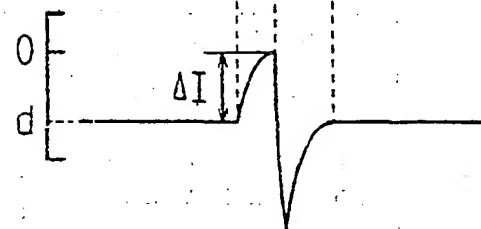
SENSORSTROM  
(A)

FIG. 9

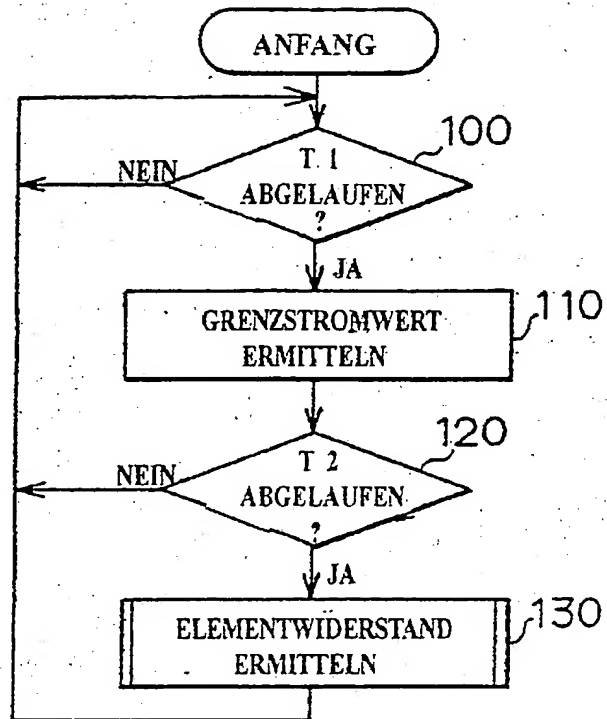


FIG. 10

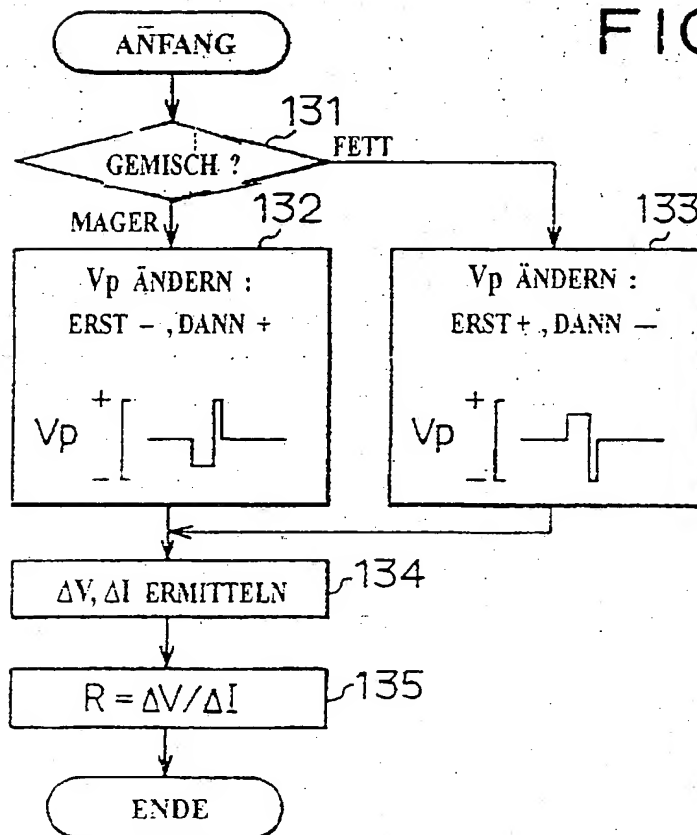


FIG. 8

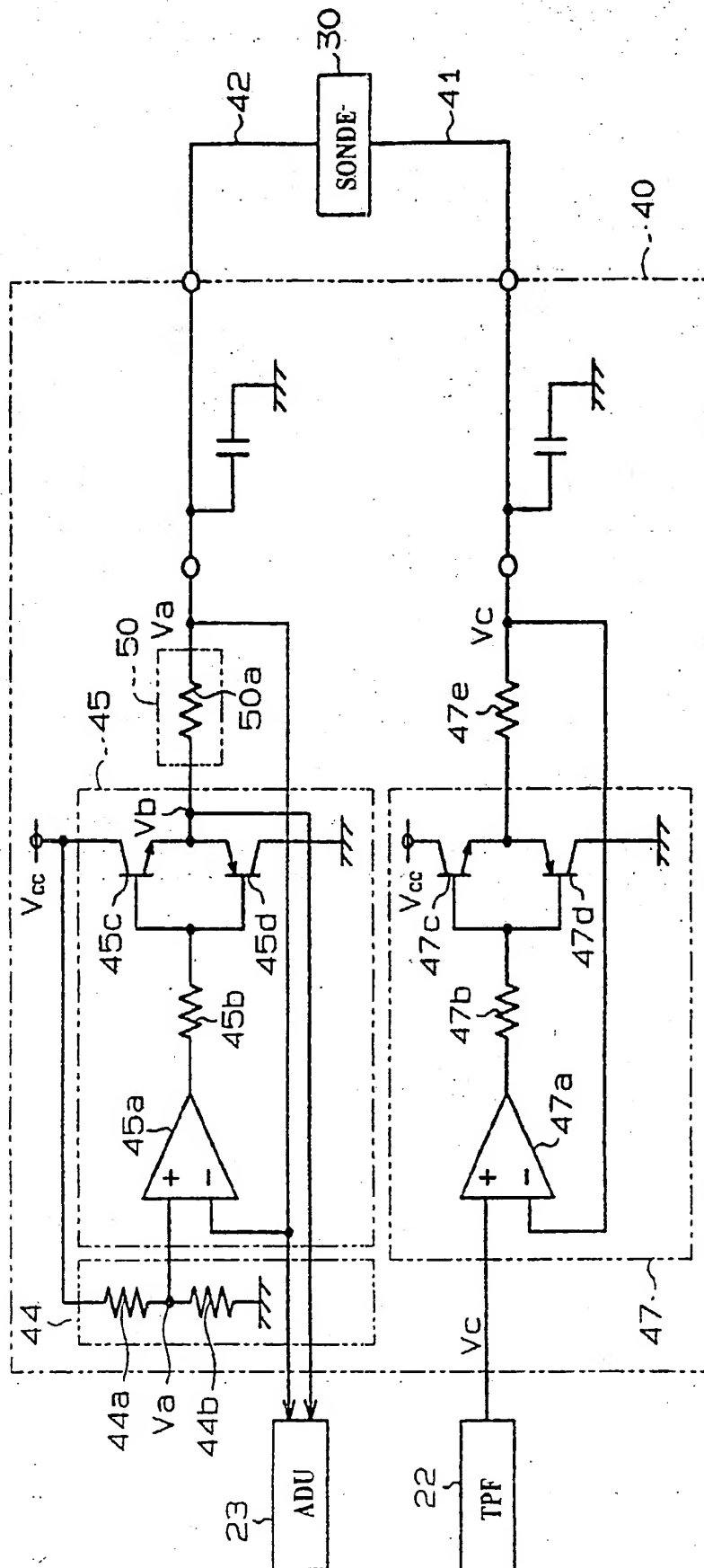


FIG. 5

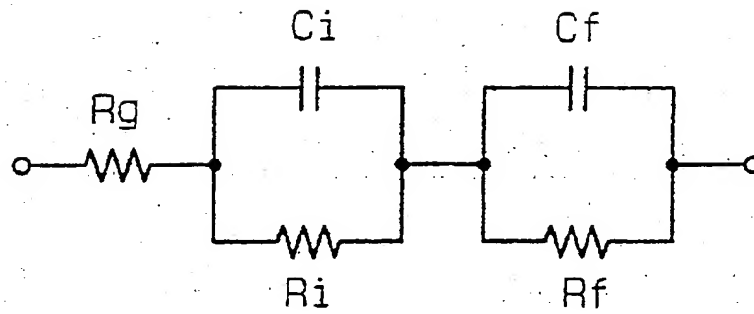


FIG. 6

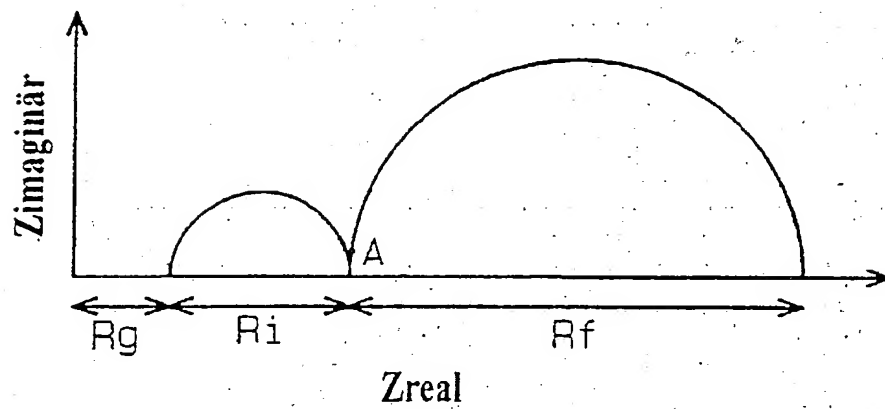


FIG. 7

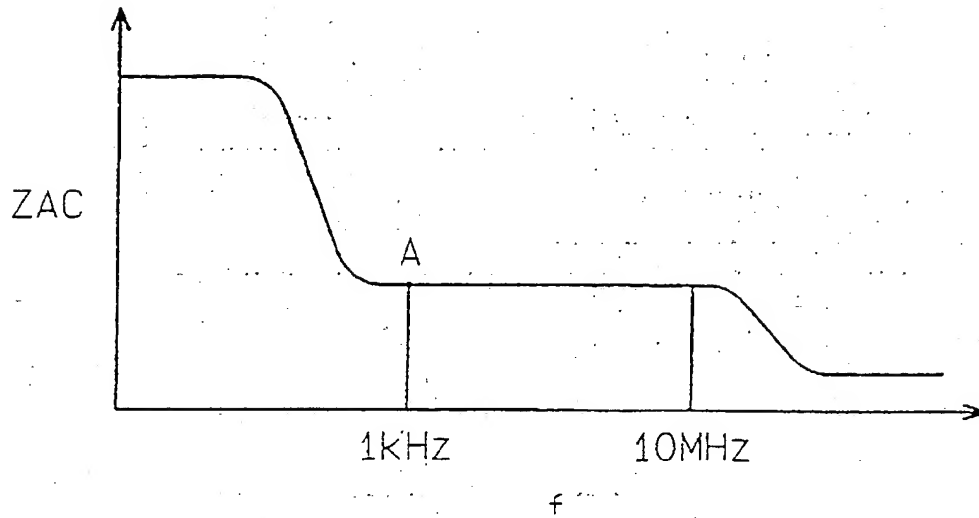


FIG. 3

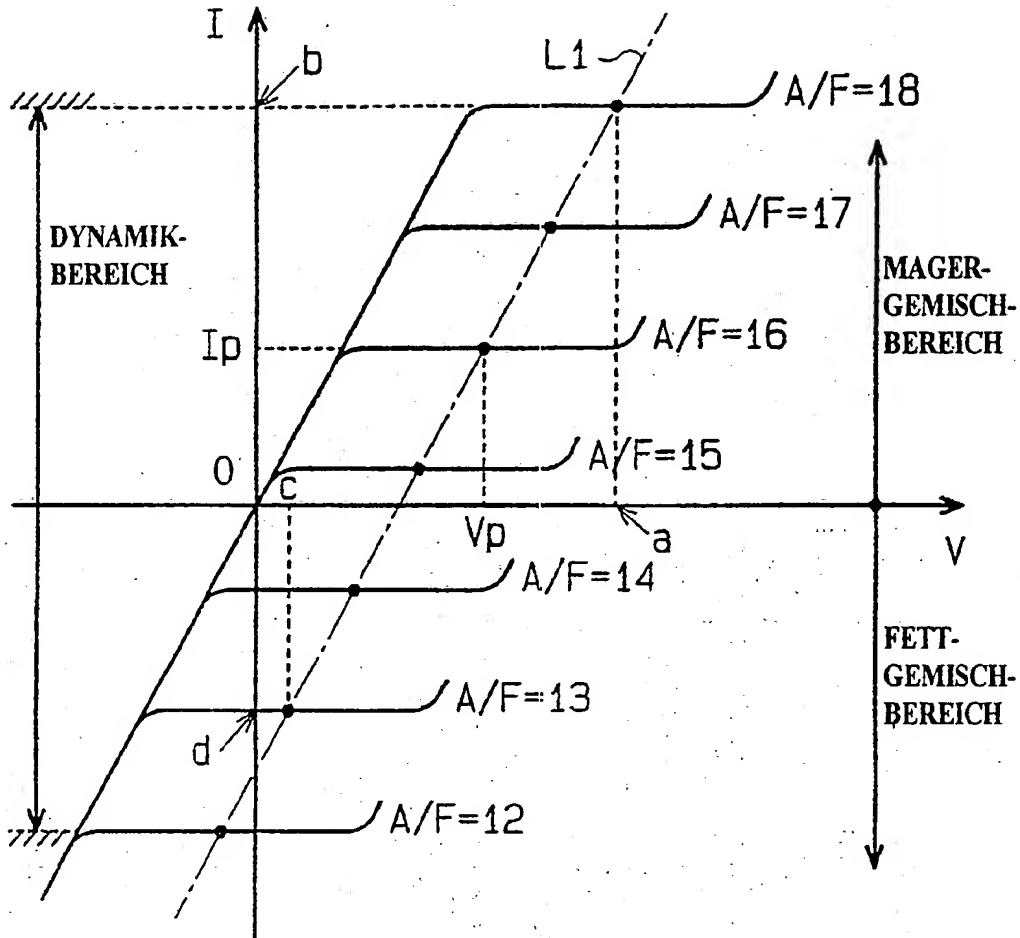


FIG. 4A

## AUSGANGSSPANNUNG D/A-UMSETZER 21

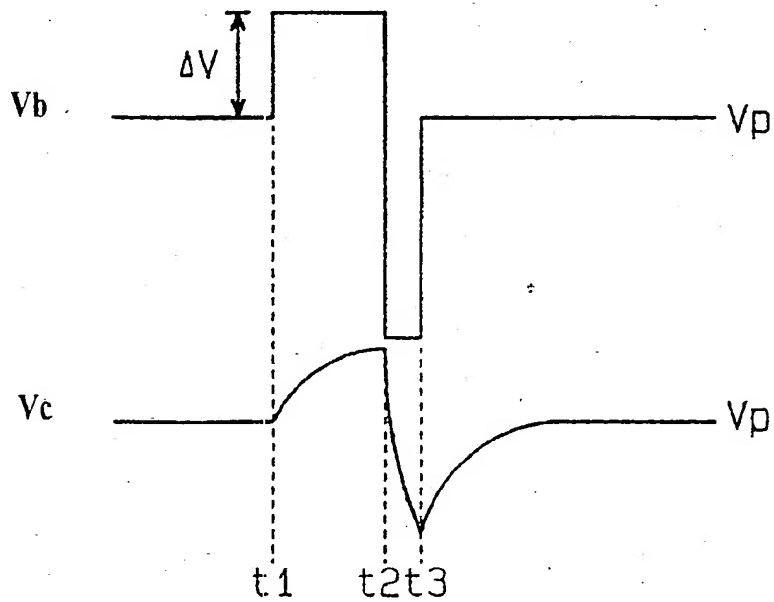


FIG. 4B

## AUSGANGSSPANNUNG TIEFPASSFILTER 22



FIG. 2

